















Magnetismus, Luft und molekulare Drehkreisel (Seite 111).

PROF. JOHN PERRY

DREHKREISEL

VOLKSTÜMLICHER VORTRAG, GEHALTEN IN EINER VERSAMMLUNG DER „BRITISH ASSOCIATION“ IN LEEDS

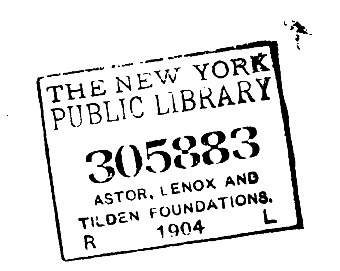
ÜBERSETZT VON

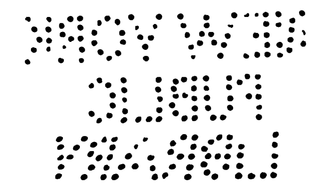
PROF. AUGUST WALZEL
IN BRÜNN

MIT 58 ABBILDUNGEN IM TEXT UND EINEM TITELBILD



LEIPZIG
DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER
1904


THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
305883
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS.
1904
R
L



Vorwort.

Dies ist nicht der Vortrag, wie er tatsächlich gehalten wurde. Der Leser wolle sich vielmehr vorstellen, daß der Vortragende an Stelle dessen, was hier auf einigen Druckseiten gesagt und durch mehrere Holzschnitte erläutert ist, eine halbe Minute mit Drehkreiseln und Gyrostaten spielte und gelegentlich einige erklärende und anregende Worte für die Zuhörer einfügte. Die wörtliche Wiedergabe des Vortrages würde das Buch ziemlich uninteressant machen. Ich habe daher versucht, den Leser durch eine größere Breite der Erklärungen dafür zu entschädigen, daß er die Apparate nicht sieht. Ferner war es in einer für einen größeren Leserkreis bestimmten Abhandlung notwendig, die Beweise zu vereinfachen, während der Vortrag vor einem Publikum gehalten wurde, dessen Lebenserfahrungen es für das Verständnis wissenschaftlicher Dinge besonders befähigte.

John Perry.

Vorwort des Übersetzers.

Als mir die englische Ausgabe des vorliegenden Büchleins in die Hände fiel, konnte ich mich nicht enthalten, eine Übersetzung der eine Fülle hübscher Versuche und wissenschaftlicher Tatsachen in anregender und leicht faßlicher Weise behandelnden Vorlesung zu wagen, um derselben tunlichste Verbreitung zu verschaffen. Ich glaube damit nicht nur den gebildeten Laien, sondern auch den Fachleuten, welchen die Schwierigkeiten der streng wissenschaftlichen Darstellung des behandelten

Stoffes bekannt sind, einen Dienst erwiesen zu haben. Besonders war es die leichte und spielende Art, mit der hier naturwissenschaftliche Probleme von höchster Wichtigkeit gemeinfaßlich dargestellt sind, die mich hierzu veranlaßte. Ich habe mich daher auch, so weit es anging, dem Originale angeschmiegt und den plaudernden Ton desselben festzuhalten getrachtet.

Bezüglich der in der Übersetzung gebrauchten Fachausdrücke will ich nur bemerken, daß ich das von dem englischen Verfasser angewandte und von dem Hauptworte Präzession abgeleitete Zeitwort präzessieren, das er selbst barbarisch nennt, geflissentlich vermieden und dafür nach dem Vorgange von H. Helmholtz und F. Wertheim das bei deren Übersetzung von W. Thomson und P. G. Taits „Natural Philosophy" dafür gebrauchte Wort „vorrücken" gewählt habe, während ich mich zur Benutzung des Ausdruckes „kreiseln" für „to spin" nicht entschließen konnte und dafür im allgemeinen „drehen" setzte. Zweideutigkeiten können hieraus bei der Fülle von Illustrationen und Erklärungen wohl nicht entstehen.

Es möge noch erwähnt werden, daß das Original dem berühmten englischen Physiker Lord Kelvin (Sir William Thomson) gewidmet ist.

Mit dem Wunsche, daß das Büchlein jedem Leser ebensoviel Vergnügen bereiten möge, wie mir das Original, überlasse ich es seinem Schicksale.

Brünn, 1904.

August Walzel.

Inhaltsverzeichnis.

In einer Privatschule zu Leeds sagte der Lehrer eines Tages zu den Schülern seiner Klasse: „In der British Association in Leeds findet ein Vortragsabend statt. Was wißt ihr darüber? Wer sind die Mitglieder der British Association? Was machen dieselben dort?“ Hierauf trat eine lange Pause ein. Endlich wurde sie von einem intelligenten, schüchternen Knaben unterbrochen: „Ich bitte, Herr Lehrer! ich weiß es — sie drehen Kreisel!“*) lautete die Antwort. Ich bedaure gestehen zu müssen, daß diese Antwort falsch war. Die Mitglieder der British Association und die Vortragenden in Leeds haben das Kreiseldrehen schon seit ihrem zehnten Jahre vernachlässigt. Würde aber der eingehenden Prüfung des Verhaltens der Drehkreisel mehr Aufmerksamkeit gezollt, so würden die Erfolge auf dem Gebiete der angewandten Mechanik und bei einer großen Anzahl von Industrien gewiß weit größere sein. Die allgemeinen Kenntnisse in der Astronomie wären bessere. Die Geologen würden nicht Fehler von Millionen von Jahren machen, und unsere Kenntnis von Licht und strahlender Wärme und anderen elektro-magnetischen Erscheinungen würde sich viel rascher erweitern, als dies der Fall ist.

---

*) Volkstümliche Vorträge wurden früher durch große Plakate in den Straßen bekannt gemacht.

Ich werde am Ende meines Vortrages zeigen, wie die Tatsache, daß unsere Erde ein sich um eine Achse drehender Körper ist, sich selbst dann bemerkbar machen würde, wenn wir in unterirdischen Räumen lebten, wie das künftige Geschlecht eines geistreichen Novellisten.*) Sie ist die hauptsächlichste und wirksamste Ursache vieler Erscheinungen, welche um uns und unter uns auftreten, und es ist sogar möglich, daß auch der Erdmagnetismus zu diesen gehört.

Es gibt in der Tat nur eine mögliche Erklärung für die Unkenntnis der Vril-ya von der Umdrehung der Erde. Ihre Kenntnis der Mechanik und der Dynamik war ganz außergewöhnlich. Kein Mitglied der Versammlung der British Association hat auch nur annähernd so viel Wissen von, ich will nicht sagen Vril, doch nur von ganz gewöhnlicher Elektrizität und von Magnetismus; und trotzdem wußte dieses große Geschlecht, welches seine Verachtung der anglo-sächsischen Koom-Poshery so heftig ausdrückt, tatsächlich nicht, daß ungezählte Generationen desselben im Innern eines Körpers wohnten, der sich um eine Achse dreht.

Können wir uns nun auch nur einen Augenblick vorstellen, daß die Kinder dieses Geschlechtes nie mit einem Kreisel gespielt und nie einen Reifen gerollt und so keine Gelegenheit gehabt hätten, zu dem hervorragendsten Studium der Natur geleitet zu werden? Nein, die einzige Erklärung liegt darin, daß der große Erzähler dies selbst nie tat.

Vielleicht hegte er als Kind eine Geringschätzung gegen das Studium der Natur, er war ein kleiner Pelham,

---

*) Bulwer Lytton, Das kommende Geschlecht.

und daher war es ihm als Mann beschieden, sogar über jene Kräfte in Unwissenheit zu bleiben, über welche das Geschlecht, das seine Einbildung schuf, verfügte.

Die Unwissenheit der Vril-ya über das Verhalten sich drehender Körper, neben ihrem tiefen Wissen vom Magnetismus, fällt um so mehr auf, wenn wir erfahren, daß die Erscheinungen des Magnetismus und des Lichtes sicherlich eng verknüpft mit dem Verhalten sich drehender Körper sind, und daß zweifellos eine genaue Kenntnis des Verhaltens solcher Körper für das richtige Verstehen der meisten in der Natur vorkommenden Erscheinungen unbedingt notwendig ist.

Das instinktive Begehren, diese Erscheinungen zu erforschen, scheint sich schon zu offenbaren, bald nachdem wir zu sprechen fähig sind, und wer weiß wieviel an der geringeren intellektuellen Fähigkeit des Weibes die Vernachlässigung der Beschäftigung mit Drehkreiseln schuld trägt, aber leider sind der jugendliche Verstand und die Muskeln der Knaben bei dem Streben nach Vervollkommnung im Kreiseldrehen einzig und allein auf die Führung angewiesen, welche die Erfahrung ebenfalls junger und nicht sehr gelehrter Gefährten darbietet. Ich erinnere mich genau, daß ich jeden Tag auf viele verblüffende Probleme stieß. Da gab's Kreisel, die niemand zum Drehen brachte, dann gab's wieder andere, sehr geschätzte, deren Verhalten oft studiert wurde und die als äußerst wertvoll begehrt waren, weil sie trotz der ungeschicktesten Behandlung sehr gut tanzten. Und doch wußte niemand, selbst nicht der Erzeuger, warum die einen gut und die anderen schlecht waren.

Ich verhehle mir nicht, daß es eine ziemlich schwie-

rige Aufgabe ist, über das Kreiseldrehen zu Leuten zu sprechen, welche schon lange jene Geschicklichkeit einbüßten, die sie an ihren Kindern bewundern: jene Vertrautheit mit der Führung und Handhabung der Kreisel, die ihnen damals so viel Macht verlieh über das, was ich nur mit Widerstreben die leblose Natur nenne. Einer Aufgabe, deren Lösung das Kind als hoffnungslos aufgibt, wird in späteren Jahren selten wieder näher getreten. Der reife Mann bannt sein Begehren nach Wissen in die dunklen Rumpelkammern seines Verstandes, und da liegt es unter dem angehäuften Staub des Lebens, ein beinahe vergessener Instinkt. Einige von Ihnen werden vielleicht glauben, daß dieser Instinkt nur jenen verbleibt, welche selbst an der Grenze des Lebens nicht über die Kindheit hinausgekommen sind; und vielleicht hat niemand von Ihnen Gelegenheit gehabt zu bemerken, wie der alte Staub vom Leben des gewöhnlichen Mannes manchmal abfällt und der schlummernde Drang, die Geheimnisse, die ihn umgeben, zu erkennen, doch noch häufig wiedererwacht.

Nicht ich allein habe diesen Drang in mir gefühlt, ich habe ihn auch in den gierigen Blicken einer Menschenmenge gesehen, die stundenlang unter dem mit Blüten übersäten Kirschbaum, neben dem Tempel des Asakusa mit seinen roten Säulen, in der östlichen Hauptstadt von Japan standen und den tedzu-mashi beobachteten, wie er die Drehungen seines schweren, mit eisernen Reifen versehenen *komma* leitete. Erst schleudert er den großen Kreisel von sich weg, schief in die Luft, und fängt den sich drehenden mit dem Ende eines Stockes, mit der Spitze eines Schwertes oder eines

anderen geeigneten Gegenstandes auf; er läßt ihn auf der Handleiste eines Stiegengeländers durch das Tor in ein Haus hinein- und zu einem Fenster desselben wieder herausrollen und schließlich auf einer großen Korkschraube hinaufwandern. Dann hält er ihn mit seinen Händen an und erteilt ihm mit einigen geschickten Handgriffen einen neuen Vorrat von Drehkraft. Er läßt ihn entlang einer ausgespannten Schnur oder auf der Kante eines Schwertes laufen; er macht allerlei merkwürdige Dinge mit seinem Kreisel, doch plötzlich fällt er aus der Rolle des Meisters und bettelt am Ende seiner Vorstellung um einige Kupfermünzen.

Wie kleinlich muß Ihnen das alles erscheinen, da Sie das kindliche Streben, in die Geheimnisse der Natur einzudringen, bereits mehr als halb vergessen haben; aber seien Sie gewiß, wenn ich's nur zustande brächte, daß der alte Kreiseldreher seine Zauberkünste an dieser Stelle zeigte, das Entzücken an dem Genusse der schönen Bewegung würde wiederkehren. Vielleicht ist eine derartige Darstellung nur in Japan möglich, in dem Lande, wo man mit Zärtlichkeit auf den wogenden Bambus, auf den kreisenden Habicht, auf die wellenbewegte sommerliche See und jede schöne Bewegung in der Natur sieht; und vielleicht lernen wir durch die Japaner die Ursache unserer kindlichen Begeisterung verstehen.

Die Priester der in jüngster Zeit die Gemüter erregenden Kunst der schönen Bewegung und des wechselnden Farbenspieles sind der Mehrzahl nach Bettler, wie Homer, und leben in Dachkammern, wie Johnson und Savage; aber die Morgendämmerung einer neuen Ära kündigt sich bereits an, oder ist vielmehr schon

mit den Errungenschaften von Sir William Thomsons (Lord Kelvin) Studien über drehende Körper, die nicht zu den geringsten seiner großen Erfolge gehören, angebrochen.



Abb. 1.

Wenn Sie es nur genau überlegen wollen, so werden Sie finden, daß das Verhalten des gewöhnlichen Kreisels

ganz wunderbar ist. Wenn er sich nicht dreht, so sehen Sie, daß er plötzlich umfällt, ich vermag ihn auf seiner unteren Spitze nicht im Gleichgewicht zu erhalten; aber was für ein ganz anderer Gegenstand ist er, wenn er tanzt; Sie sehen, daß er nicht allein nicht fällt, sondern daß er, wenn ich ihn stoße, einen merkwürdigen Widerstand leistet, und daß er hauptsächlich immer mehr und mehr eine aufrechte Stellung einnimmt. Wird man einmal zu einer wissenschaftlichen Beobachtung angeregt, so bietet uns die Natur meist Tatsachen ähnlicher Art in großer Menge dar.

Diejenigen von Ihnen, welche einen schnell bewegten Gürtel oder ein Seil beobachtet haben, wissen, daß rasche Bewegung biegsamen und selbst flüssigen Körpern eine Art Steifigkeit verleiht.

Hier ist z. B. eine Scheibe von ganz dünnem Papier (Abb. 1); wenn ich sie in rasche Umdrehung versetze, so bemerken Sie, daß sie der Kraft meiner Hand oder dem Schlag meiner Faust Widerstand leistet, als ob sie eine Scheibe aus Stahl wäre. Hören Sie, wie sie tönt, wenn ich sie mit dem Stocke schlage. Wohin kam ihre Biegsamkeit?

Hier wieder ist eine ringförmige Kette, die ganz biegsam ist. Es scheint lächerlich, daß man sie zum Stehen bringen könne, wie einen steifen Reifen, und doch, wenn ich ihr auf dieser Spindel eine rasche Drehbewegung erteile und sie auf den Tisch gleiten lasse, so läuft sie über den Tisch, gerade als wäre sie ein steifer Ring, und wenn sie auf den Boden fällt, springt sie in die Höhe, wie der Spielreif eines Knaben (Abb. 2).

Hier wieder ist ein sehr weicher Hut, eigens zu

diesem Versuche gemacht. Sie werden bemerken, daß er, wenn ich ihn auf den Tisch lege, zu einer formlosen Masse zusammensinkt und ganz unfähig scheint, Kräften Widerstand zu leisten, welche seine Form ändern wollen. Der vollständige Mangel an Steifigkeit ist hier in der Tat höchst augenfällig; wird aber der Hut am Ende dieses Stockes gedreht, so be-

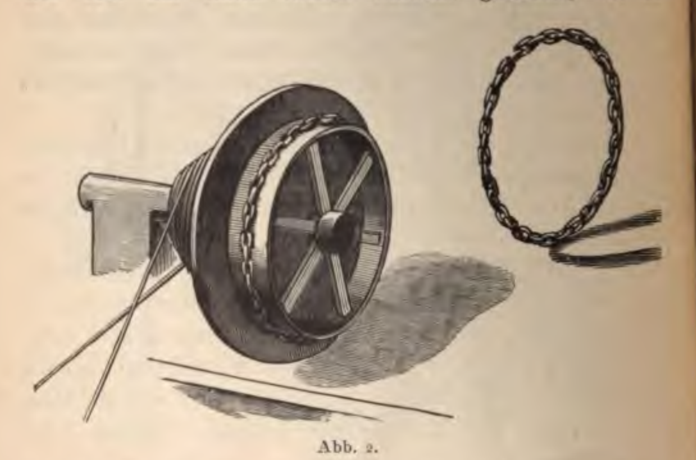


Abb. 2.

merken Sie erstens, daß er eine elegante Form annimmt, zweitens, daß er auf dem Tische entlang läuft, als wäre er aus Stahl verfertigt, drittens, daß er, sobald die rasche Bewegung aufhört, wieder in eine formlose Masse weichen Stoffes zusammenfällt. Ebenso können Sie wahrnehmen, daß ein Betrunkener, wenn er nicht etwa an einer Mauer oder an einem Laternenpfahle lehnt, fühlt, daß seine einzige Rettung vor einer schimpflichen Niederlage in dem Erreichen einer gewissen Geschwindigkeit der Be-

wegung besteht, und daß er so durch die Raschheit der Bewegung eine scheinbare Anständigkeit seines Betragens erzielt.

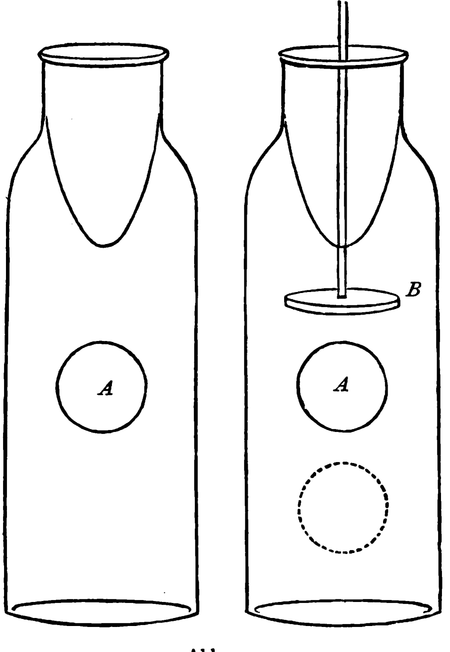


Abb. 3.

Das Wasser innerhalb dieses Glasgefäßes (Abb. 3*) befindet sich in einem Zustande rascher Bewegung und dreht sich zugleich mit dem Glase. Beobachten Sie jetzt das in das Wasser eingetauchte Stück Paraffin *A*

*) Das Glasgefäß sollte im Vergleich zu seiner Höhe breiter sein.

und Sie werden sehen, daß es, wenn ich mit einem Stabe daran stoße, vibriert, gerade als wäre es von einer dicken Gallerte umgeben. Es möge nun Prof. Fitzgeralds Verbesserung dieses William Thomsonschen Versuches angewendet werden. Hier am Ende dieses Stabes steckt eine Scheibe *B*. Wenn ich die Scheibe *B* einführe, so sehen Sie, daß dieselbe, obwohl sie *A* nicht berührt, dieses doch abstößt. Und weiter können Sie, wenn ich die Scheibe *B* rasch drehe, beobachten, daß sie *A* anzuziehen scheint.

Nächst dem runden Loche an der Vorderseite dieses Kästchens (Abb. 4) wird einer kleinen Menge von — um sie sichtbar zu machen — mit Rauch gemischter Luft eine rasche Bewegung erteilt und so ein Rauchring erzeugt. Dieser Rauchring bewegt sich auf eine bedeutende Entfernung ohne Richtungsänderung, beinahe wie ein fester Körper, und ich bin nicht sicher, ob es nicht möglich wäre, einen großen, vergifteten Rauchring soweit zu senden, daß er eine meilenferne Armee zerstören oder betäuben könnte. Bedenken Sie auch, daß dies während der ganzen Zeit stets dieselbe Luft ist. Sie können ferner beobachten, daß zwei von zwei Kästchen ausgehende Rauchringe eine merkwürdige Einwirkung aufeinander ausüben; — das Studium dieser Einwirkungen hat zu Thomsons Rauchring- oder Wirbeltheorie über die Zusammensetzung der Materie Anlaß gegeben

Rankine, der große Führer aller Ingenieure, war es, welcher zuerst die Idee molekularer Wirbel bei seiner Erklärung der Wärme- und Elastizitätserscheinungen aussprach, die Idee nämlich, daß jedes Teilchen der Materie ein kleiner Drehkreisel sei; ich will aber jetzt nur von Thomsons Theorie sprechen.

Die Vorstellung, daß ein Atom der Materie bloß ein merkwürdig gestalteter und wunderbar geformter Rauchring sei, der sich in einer vollkommenen Flüssigkeit befindet, und daß derselbe nie einer bleibenden Veränderung unterliegen könne, scheint eine sehr sonderbare und weit hergeholte Hypothese zu sein. Aber sie ist, abgesehen von gewissen Schwierigkeiten, die Grundlage einer

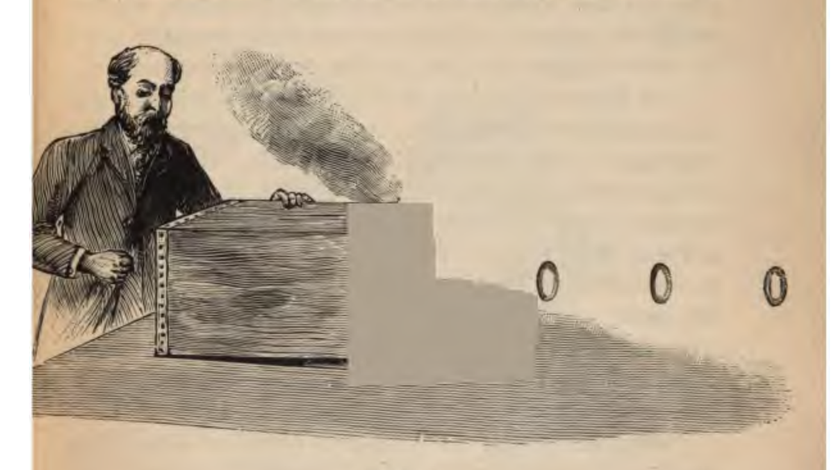


Abb. 4.

Theorie, welche am besten die meisten von den Forschern beobachteten Molekularerscheinungen erklären dürfte. Was auch immer der Wert dieser Theorie sein mag, so sehen Sie doch an diesen Versuchen, daß die Bewegung kleinen Mengen von Flüssigkeiten merkwürdige Eigenschaften von Elastizität, von Anziehung und Abstoßung gibt; daß jedes dieser Wesen der Teilung in

zwei Teile Widerstand entgegensetzt; daß man ein Messer nicht einmal in die Nähe eines Rauchringes bringen kann; und daß ein Zusammenstoß beider durchaus nicht sehr verschieden ist von dem Zusammenstoß zweier Kautschukringe.

Ein anderes Beispiel der Steifigkeit, welche eine in rascher Bewegung befindliche Flüssigkeit erlangt, ergibt sich aus dem Gefühl der äußersten Hilflosigkeit, welches selbst die stärksten Schwimmer manchmal überfällt, wenn sie unter Wasser von einem Wirbel erfaßt werden.

Ich könnte, wenn ich wollte, noch viele Beispiele von der scheinbaren Steifigkeit, welche die Bewegung allen biegsamen oder flüssigen Körpern erteilt, anführen. In Kanada wird ein Wasserstrahl, ähnlich dem aus dem Spritzenschlauche eines Feuerwehrmannes kommenden, nur von viel größerer Heftigkeit, der aber ebenso leicht in verschiedene Richtungen gebracht werden kann, beim Minieren verwendet, und große Massen von Stein werden rasch durch das fließende Wasser, das in seiner Heftigkeit eher ein Stahlbarren als ein Wasserstrahl zu sein scheint, zerteilt.

Möglicherweise werden Sie sich mehr für diese Messingbüchse interessieren, die ich in meinen Händen halte. Sie sehen an derselben nichts in Bewegung, aber in Wirklichkeit enthält das Innere der Trommel ein Schwungrad, das in rascher Umdrehung begriffen ist.

Beobachten Sie nun, wie ich diese Trommel mit ihrer scharfen Schneide, welche Ähnlichkeit mit der Schiene eines Schlittschuhes besitzt, auf den Tisch stelle, ohne daß sie umfällt, wie dies bei einer gewöhnlichen Trommel eintreten würde und auch bei dieser nach einer Weile

eintreten wird, wenn ihr Inhalt zur Ruhe kommt. Beobachten Sie ferner, daß ich ihr heftige Schläge versetzen kann, ohne daß sie sich aus ihrer aufrechten Lage zu neigen scheint; sie wendet sich nur etwas, neigt sich aber nicht, wie heftig ich sie auch schlagen mag. Be-



Abb. 5.

obachten Sie sodann, daß die Trommel, wenn ich sie in eine etwas geneigte Lage bringe, nicht umfällt, sondern sich langsam mit einer sogenannten vorrückenden Bewegung (Präzession*) wendet (Abb. 5).

*) Denkt man sich das untere Ende der Drehungsachse eines Kreisels festgehalten, während das obere Ende sich langsam in

Erlauben Sie, daß ich während der ganzen Vorlesung den Ausdruck vorrückende Bewegung (Präzession) oder kurz Vorrücken für eine derartige Bewegung bei-



Abb. 6.

behalte. Vielleicht haben Sie gewichtige Einwendungen gegen den Ausdruck, daß die Trommel vorrücke (pre-

---

einer Kurve, also etwa einem Kreise, vorwärtsbewegt, so daß die Drehungsachse selbst die Mantelfläche eines auf seiner Spitze stehenden Kreiskegels beschreibt, so stellt diese Bewegung der Drehachse die einfachste Form der sog. vorrückenden Bewegung oder Präzession dar.

Anmerkung des Übersetzers.

cesses), wenn sie eine derartige Bewegung annimmt; aber ich habe tatsächlich keine andere Wahl, da ich irgendein Wort gebrauchen muß, und ich habe auch keine Zeit, ein passenderes zu suchen oder zu erfinden. Wenn ich diese Trommel in meinen Händen halte (Abb. 6) und sie nur parallel in irgendeiner Richtung verschiebe, so fühle ich genau dasselbe, als wenn ihr Inhalt in Ruhe wäre; sobald ich sie aber in meinen Händen zu neigen suche, stoße ich auf einen höchst merkwürdigen und bedeutenden Widerstand gegen eine solche Bewegung. Diese Bereitwilligkeit der Trommel, wenn man sie in den Händen hält, allen Bewegungen, bei denen ihre Neigung ungeändert bleibt, zu folgen, dagegen ihr Widerstand gegen Bewegungen, welche diese Neigung zu ändern suchen, sowie das unerwartete Bestreben, sich in letzterem Falle nach der entgegengesetzten Richtung zu bewegen, verursachen die unheimlichsten Gefühle. Es scheint fast, als enthielte die Trommel ein unsichtbares Wesen, das mit Zauberkräften auf sie einwirkt. Und tatsächlich befindet sich im Innern derselben ein geistiges Wesen, welches algebraisch Gebildete eine imaginäre Größe, andere Mathematiker aber „einen Operator" nennen.

Beinahe alle Versuche, sowie die Kreisel und die anderen Apparate, welche Sie heute abend gesehen haben oder noch sehen werden, wurden von meinem begeisterten Assistenten Herrn Shepherd zusammengestellt nnd verfertigt. Der nachfolgende Versuch ist aber nicht nur von ihm zusammengestellt, sondern auch die Idee hierzu rührt von ihm her. Er sagte: „Sie mögen wohl mit dem großen Gyrostaten in ihren Händen Ihren Körper

winden und verzerren, soviel Sie wollen, es werden doch viele unter der großen Zuhörerschaft einfach sagen, daß Sie ihnen nur vorspiegeln, eine Schwierigkeit beim Neigen des Gyrostaten zu finden.“ Und so stellte er diesen auf Rollen ruhenden Tisch her, auf dem ich stehen kann. Nun werden Sie bemerken, daß, wenn ich versuche, den Gyrostaten zu drehen, dieser sich nicht dreht; wie immer ich mich auch anstrenge, er bleibt in seiner Lage, welche nach jener bestimmten Ecke des Saales gerichtet ist, und all meine Mühe bringt nur zustande, daß mein Körper und der Tisch sich drehen, aber nicht der Gyrostat.

Sie werden jetzt wohl eingesehen haben, daß die Trommel nur dann Widerstand leistet, wenn die Drehungsachse des verborgenen Schwungrades in eine andere Richtung gebracht werden soll, und wenn Sie der Gegenstand interessiert und Sie einige weitere Beobachtungen machen, so werden Sie bald finden, daß jeder sich drehende Körper, wie das Rad, im Innern der Trommel mehr oder weniger einem Wechsel der Richtung der Drehungsachse widersteht. Wenn die Schwungräder der Dampfmaschine, der Dynamos und anderer rasch gehender Maschinen an Bord eines Schiffes sich drehen, können Sie ganz sicher sein, daß sie dem Schlingern, Rollen oder Wenden des Schiffes oder irgendeiner anderen Bewegung, welche die Richtung ihrer Achsen zu ändern versucht, einen größeren Widerstand bieten, als wenn sie sich nicht drehen.

Hier ist ein Kreisel, der auf einer Platte liegt und den ich in die Luft werfe; Sie sehen, daß es schwer ist, seiner Bewegung zu folgen, und niemand könnte,

bevor er fällt, genau vorhersagen, wie er auf der Platte ankommen wird; er kann mit dem spitzen Ende vorn, hinten oder seitwärts niederfallen. Wenn ich ihn aber drehe (Abb. 7) und ihn nun in die Luft werfe, so besteht

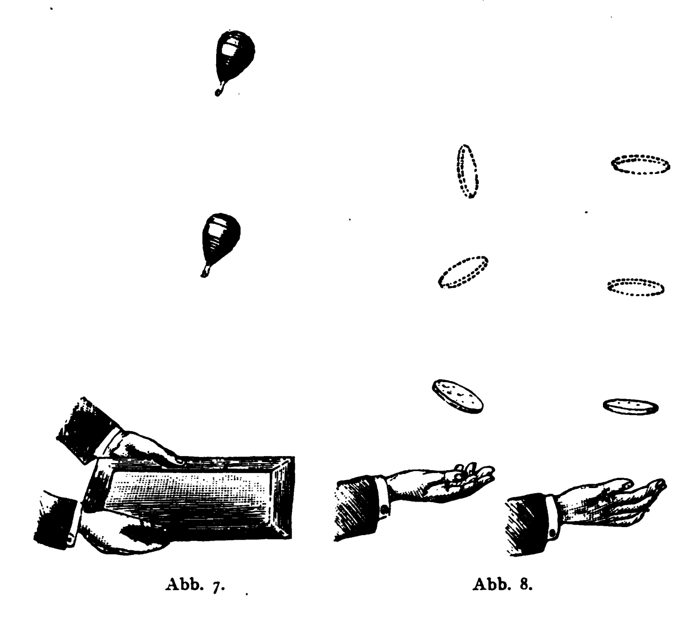


Abb. 7. Abb. 8.

gar kein Zweifel, wie er wieder herunterkommen wird. Die Drehachse bleibt parallel zu sich, und ich kann den Kreisel zu wiederholten Malen in die Höhe werfen, ohne seine Drehbewegung merklich zu stören.

Wenn ich dieses Biskuit in die Höhe schleudere, so werden Sie bemerken, daß ich nicht voraus wissen kann, wie es herabfallen wird, versetze ich es aber, bevor es

meine Hand verläßt, in Drehung, so besteht darüber kein Zweifel (Abb. 8).

Hier ist ein Hut, ich werfe ihn in die Höhe und weiß nicht, wie er herabgelangt; erteile ich ihm aber eine Drehung, so sehen Sie, daß, wie beim Kreisel und Biskuit, die Achse, um welche die Drehung stattfindet, parallel zu sich bleibt, und wir haben die Gewißheit, daß der Hut mit der Krempe nach abwärts am Boden ankommt (Abb. 9).

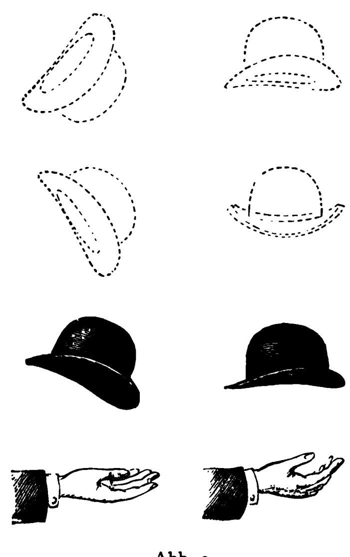


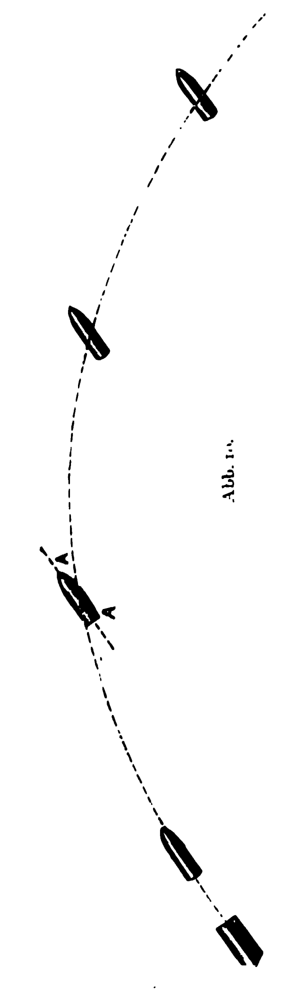
Abb. 9.

Ich brauche Ihnen wohl nicht nochmals den sehr weichen Hut vorzuführen, dem wir einige Minuten früher eine gewisse Steifigkeit erteilten, aber Sie werden sich erinnern, daß mein Assistent denselben wie ein Projektil in die Luft schleuderte, als er in Drehung versetzt war, und daß die Drehungsachse desselben genau so parallel zu sich selbst blieb, wie jene dieses steiferen Hutes und des Biskuits.

Ich zeigte einmal einige meiner Versuche mit Drehkreiseln vor der kaffeetrinkenden und tabakrauchenden Zuhörerschaft in einer der vortrefflichen Veranstaltungen der Viktoria-Musikhalle in London. In dieser Musikhalle

geschieht nichts, was sehr verschieden von dem wäre, was in anderen Musikhallen getrieben wird, nur daß man weder Bier noch Wein oder sonstige geistige Getränke bekommen kann und daß gelegentlich kurze wissenschaftliche Vorträge gehalten werden. Ich suchte nun meine Zuhörer, soviel ich es vermochte, für die vorgeführte Tatsache zu interessieren und legte dar, daß man einer Wurfscheibe (*quoite*) eine Drehung geben muß, wenn man sie so werfen will, daß mit Sicherheit angegeben werden kann, wo sie niederfällt; ebenso, wenn man jemandem einen Reifen oder einen Hut so zuwerfen will, daß er diese Gegenstände auf einem Stocke auffangen kann. Immer könne man auf das Widerstreben eines Körpers gegen eine Änderung seiner Drehachse rechnen. Ich setzte meinen Zuhörern weiter auseinander, daß man sich bei glatt gedrehten Kanonenrohren nie auf die Genauigkeit verlassen könne*); daß die Drehung, welche eine gewöhnliche Kugel nimmt, in erster Linie davon abhängt, wie die Kugel zufällig die Mündung der Kanone in dem Augenblicke berührt, wenn sie dieselbe verläßt, weshalb die Rohre jetzt gezogen (gedrillt) werden; d. h. es werden jetzt in die Innenseite des Rohres der Kanonen spiralförmige Rinnen eingeschnitten, in welche Vorsprünge der Kugel oder des Projektiles hineinpassen,

*) 1746 lehrte Benjamin Robins die Grundzüge der Büchsenmacherei, wie wir sie heute ausüben. Er zeigte, daß die Drehung der runden Kugel als die wichtigste Sache zu betrachten sei und daß selbst der gebogene Lauf einer Kanone die Kugel keineswegs in dem Maße zum Ausweichen bringt, als die Drehung der Kugel ein Ausweichen im entgegengesetzten Sinne verursachen kann.


Abb. 10.

so daß letztere, wenn sie durch die explosive Kraft des Pulvers gezwungen werden, sich längs des Kanonenrohres zu bewegen, sich auch um ihre Achsen drehen müssen. Folglich verläßt das Projektil nun die Kanone mit einer genau bekannten Drehbewegung, über welche kein Zweifel bestehen kann, und wir wissen auch, daß Abb. 10 die Art der Bewegung zeigt, welche das Projektil später annimmt, denn gerade wie beim Hut oder bei dem Biskuit bleibt seine Drehachse nahezu parallel. Das war alles, was ich tun konnte, denn ich besitze keine Geschicklichkeit im Werfen von Hüten und Scheiben. Aber nachdem ich meine Ansprache beendet und eine junge Dame noch ein komisches Lied gesungen hatte, betraten zwei Jongleure, ein Herr und eine Dame, die Bühne, und ich konnte keine bessere Illustration der erwähnten Gesetze wünschen, als jedes einzelne Kunststück darbot, das von den beiden Artisten ausgeführt wurde. Sie schleuderten einander drehende Hüte, Reifen, Teller und Schirme zu. Einer

der Jongleure warf eine Reihe von Messern in die Luft, fing sie wieder auf und schleuderte sie mit größter Sicherheit wieder in die Höhe; mein bereits unter-



Abb. 11.

richtetes Auditorium jauchzte vor Vergnügen und bezeigte in nicht mißzuverstehender Weise, daß es die Drehung bemerkte, die der Jongleur jedem Messer

gab, sobald es seine Hand verließ, so daß er bestimmt wissen konnte, wie es wieder zu ihm zurückkommen werde (Abb. 11). Es erfüllte mich damals mit Erstaunen, daß beinahe ohne Ausnahme jedes an jenem Abende ausgeführte Jongleurkunststück eine Illustration des erwähnten Prinzipes darbot. Und wenn Sie meine Aussage bezweifeln, so fragen Sie nur ein Kind, ob sein Reifen leichter umfällt, wenn er rasch dahinrollt oder wenn er langsam läuft; fragen Sie einen Radfahrer, ob er das Gleichgewicht besser hält, wenn er langsam oder wenn er rasch fährt; fragen Sie eine Ballettänzerin, wie lange sie auf einer Zehe, ohne sich mit ihren Armen oder einem Stabe das Gleichgewicht zu halten, stehen könnte, wenn sie sich nicht drehen würde; fragen Sie einen Astronomen, wie viele Monate die Erdachse genau so weit weg vom Polarsterne stehen würde, wenn sich die Erde nicht drehte; und vor allem anderen fragen Sie einen Jungen, ob sein Kreisel leichter auf seiner Spitze steht, wenn er sich nicht dreht oder wenn er sich dreht.

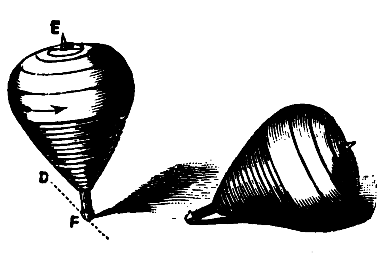


Abb. 12.

Wir wollen nun das Verhalten eines gewöhnlichen Kreisels aufmerksamer prüfen (Abb. 12). Dreht er sich nicht, so sehen Sie, daß er plötzlich umfällt; will ich ihn auf seiner Spitze aufrecht stehen lassen, ist er vollständig unstabil. Aber jetzt geben Sie acht, wenn er

tanzt, dann bleibt er nicht allein aufrecht auf seiner Spitze stehen, sondern auch wenn ich ihm einen Schlag versetze und so seinen Zustand störe, geht er mit einer vorrückenden Bewegung im Kreise herum, die nach und nach immer geringer wird, und der Kreisel erlangt alsbald wieder seine aufrechte Stellung. Ich hoffe nicht, daß sie etwa glauben, die zur aufmerksamen Beobachtung derartiger Erscheinungen verwendete Zeit sei nutzlos verschwendet. Die wissenschaftliche Beobachtung der gewöhnlichsten Erscheinungen, die in unserem Alltagsleben vorkommen, ist nie verschwendet, und ich fühle es oft, daß, wenn Arbeiter, also jene Personen, welche am meisten vertraut mit der anorganischen Natur sind, nur einfache wissenschaftliche Gesetze bei ihren Verrichtungen anwenden könnten, wir statt einer großen Entdeckung in jedem Jahrhundert eine solche in jedem Jahre haben würden.

Kehren wir zu unserem Kreisel zurück; da sind vorerst zwei wichtige Beobachtungen zu machen. Dabei wollen Sie für einen Augenblick die leichten schwankenden Bewegungen, welche eintreten, unbeachtet lassen.

Die erste Beobachtung, die wir machen, ist, daß der Kreisel sich nicht in der Richtung des Schlages neigt. Wenn ich gegen Süden schlage, neigt sich der Kreisel gegen Westen, schlage ich gegen Westen, so neigt er sich gegen Norden. Der Grund hiervon ist allen wissenschaftlich Gebildeten bekannt, und das Gesetz, dem das Verhalten des Kreisels unterliegt, ist in vieler Beziehung von der größten Wichtigkeit; ich hoffe, es Ihnen verständlich zu machen. Die zweite Tatsache, daß der Kreisel nach und nach seine aufrechte Stellung wieder

erreicht, ist ebenfalls jedermann bekannt, nicht so der Grund hierfür, doch glaube ich, es wird Ihnen keine Schwierigkeiten bereiten, denselben einzusehen.



Abb. 13.

Die erste Erscheinung kann an der Trommel beobachtet werden, die ich Ihnen schon gezeigt habe. Diese Trommel (Abb. 5) mit dem Schwungrad im Innern wird ein Gyrostat genannt. Wenn ich die Trommel stoße, neigt sie sich nicht, sondern sie wendet sich langsam im Kreise herum. An diesem Gyrostaten läßt sich

die zweite Erscheinung nicht zeigen; wenn ich es so einrichte, daß er aus seiner aufrechten Stellung kommt, dann wird er sich nicht wieder aufrichten, sondern er wird

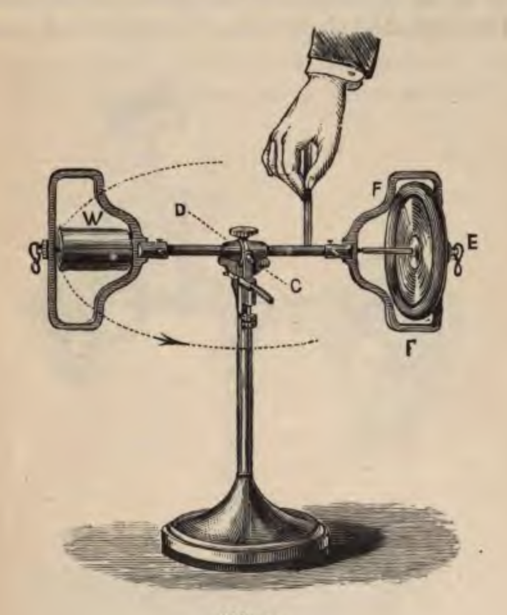


Abb. 14.

im Gegenteil in immer weiteren und weiteren Kreisen vorrücken und sich immer mehr und mehr von seiner aufrechten Stellung entfernen. Die erste Erscheinung wird am leichtesten an einem ausbalancierten Gyrostaten (Abb. 13) studiert. Sie sehen hier das Schwungrad G in einem starken Bronzerahmen F, welcher so

unterstützt ist, daß er sich sowohl um die vertikale Achse *AB* als auch um die horizontale Achse *CD* frei bewegen kann. Der Gyrostat wird durch das Gegengewicht *W* im Gleichgewicht gehalten. Beobachten Sie, daß ich den Hebelarm von *W* vergrößern oder ver-

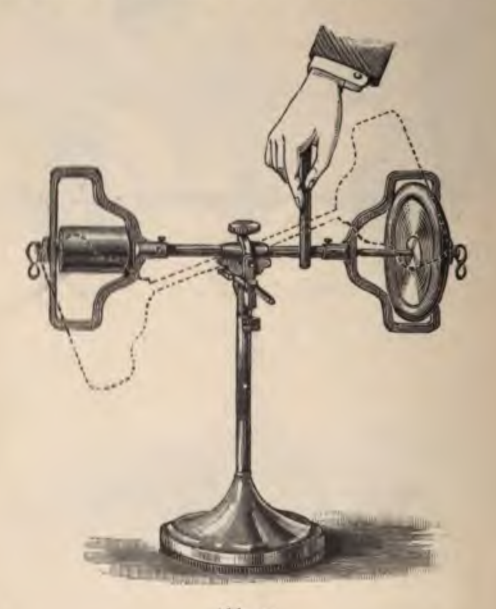


Abb. 15.

kleinern kann, indem ich seine Lage in der Hülse bei *A* verschiebe, so daß das Gegengewicht den Gyrostaten entweder zu heben oder zu senken oder auch im Gleichgewicht zu halten, wie dies jetzt der Fall ist, bestrebt sein wird.

Sie müssen nun genau erfassen, was wir zu studieren wünschen. Ich versuche F mit dem Stabe nach abwärts zu stoßen (Abb. 14), in der Tat bewegt es sich aber nach rechts; jetzt stoße ich F nach rechts und es hebt sich (Abb. 15); jetzt stoße ich es nach aufwärts und es bewegt sich nach links; stoße ich es nach links, so wendet es sich abwärts. Sie können weiter bemerken, daß,



Abb. 16.

wenn ich das Instrument so festklemme, daß es sich nicht vertikal bewegen kann, nach dem Schlage sofort eine Bewegung im horizontalen Sinne erfolgt, dagegen bewegt es sich vertikal, wenn ich die horizontalen Bewegungen verhindere. Ich will das Instrument nun frei

machen, wie früher, und die Lage des Gewichtes W so verschieben, daß es beständig den Gyrostaten zu heben sucht, jetzt sehen Sie, daß das Instrument sich nicht hebt, sondern eine langsame, vorrückende Bewegung annimmt. Ich verschiebe nun wieder das Gewicht W, so daß der Gyrostat fallen würde, wenn er sich nicht in rascher Achsendrehung befände (Abb. 16*), und jetzt bewegt er sich horizontal mit einer langsamen vorrückenden Bewegung in einer Richtung, welche der früheren entgegengesetzt ist. Diese Erscheinungen erklären sich, wie ich erwähnte, leicht, doch müssen sie vorher genau beobachtet werden. Sie kennen jetzt beiläufig alle die Grundursache, nämlich: wenn ich versuche, die Richtung der Achse eines sich sehr rasch drehenden Körpers zu ändern, diese Achse wohl die Richtung ändert, aber nicht in der Weise, wie ich es beabsichtigte. Der Fall ist noch merkwürdiger als jener mit dem Schwein eines Landmannes, der, wenn er haben wollte, daß dasselbe nach Cork ginge, ihm vorspiegeln mußte, die Wanderung ginge heimwärts. Seine Regel war eine sehr einfache, und wir müssen auch eine solche für unseren drehenden Körper finden, der beinahe einem Krebse ähnlich ist, der nur dann längs des geraden Weges geht, wenn man ihn seitlich stößt.

Als Beispiel beobachten Sie das sich drehende Projektil von Abb. 10. Dasselbe trachtet seine Achse immer

---

*) In Fig. 16 ist die Achse geneigt dargestellt, aber nur aus dem Grunde, weil die Darstellung sonst Schwierigkeiten verursacht; ich hätte es vorgezogen, die Vorrückung bei horizontaler Achse zu zeigen.

in der nämlichen Richtung zu erhalten. Hier zeigt sich jedoch eine Abweichung in der Anordnung, die Sie wohl in der Lage sind zu verstehen. Sie sehen, daß bei *A* die Luft auf die untere Fläche *AA* drücken muß, und ich habe nun zu erklären, wie dieser Druck bewirkt, daß das Projektil seine Breitseite der Luft zuzuwenden sucht. Ein Boot in einem Flusse, das sich nicht frei bewegen kann, sondern in der Mitte angeseilt, sonst aber in seinen Bewegungen unbehindert ist, wird seine Breitseite dem Strome darbieten. Betrachten Sie diese Scheibe aus Kartenpapier, welche ich schief durch die Luft fallen lasse, so sehen Sie, daß sie sich sogleich auf die Breitseite legt und langsam abwärts sinkt; und manche von Ihnen mögen in Aden kleine Silbermünzen für die tauchenden Knaben ins Wasser geworfen haben, Sie können aber versichert sein, daß ohne das langsame Sinken der Münzen auf der Breitseite mit einer schwankenden Bewegung es wahrscheinlich keinem

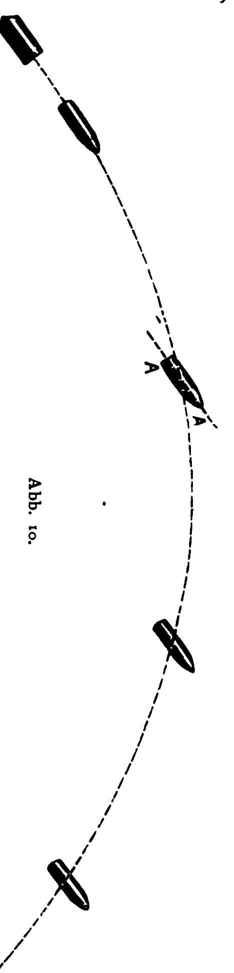


Abb. 10.

tauchenden Knaben gelingen würde, in den Besitz auch nur einer Münze zu gelangen. Dies alles in Parenthesis. Der Luftdruck sucht das Projektil nach der Breitseite zu wenden, aber da es sich um seine Längsachse dreht, so richtet sich die Achse nicht auf, ebensowenig wie jene des Gyrostaten, wenn ich es versuche, sie aufzurichten; sie tritt aus der Fläche der Zeichnung, aus der Wurffläche heraus, und nur die Artilleristen wissen genau, was mit der Achse geschieht, diese sogenannte Schraubung des Projektils bereitet ihnen viel Sorge.

Sie können wahrnehmen, daß ein erfahrenes Kind, wenn es die Richtung seines Reifens zu ändern wünscht, mit seinem Reifstock einen Druck auf den Reifen ausübt, welcher ihn zu neigen sucht. Ein Radfahrer ändert seine Richtung, indem er sich so überneigt, daß er außer Gleichgewicht zu kommen scheint. Hierbei wird es aber gut sein, wenn Sie beachten, daß die Bewegung eines Fahrrades und seines Fahrers keine vollständige Drehbewegung ist, so daß sie nicht ganz mit der eines Kreisels oder Gyrostaten übereinstimmt. Die Erklärung für das Abweichen vom geraden Pfade, wenn ein Reiter seinen Körper neigt, kommt schließlich auf dasselbe einfache Prinzip hinaus, es ist das zweite Newtonsche Bewegungsgesetz, nur kommt man leichter darauf. Aus demselben Grunde — nämlich kurz gesagt infolge der Wirkung der Zentripetalkraft — kann ein Reiter, wenn er nicht Wert auf seine äußere Erscheinung legt, seinem Pferde dadurch nachdrücklich helfen, rasch um eine Ecke zu kommen, daß er seinen Körper nach jener Seite neigt, nach welcher er sich wenden will; und einen je langsameren Schritt das Pferd einhält, um so

größer wird die Wirkung einer solchen Neigung des Reiters sein. Zirkusreiter, wenn sie im Kreise galoppieren, unterstützen ihre Pferde sehr durch die Haltung ihres Körpers; sie nehmen nicht etwa deswegen beim Reiten eine Stellung ein, welche kein Reitlehrer seinen Schülern erlauben würde nachzuahmen, um sich vor dem Falle infolge der Zentrifugalkraft zu schützen, und die bestbekannten Reiter unseres Landes würden es nicht verachten, ihren Pferden in der Weise zur Vollführung von raschen Wendungen zu helfen, wenn sie weidendes Rindvieh zu jagen und zu sammeln hätten, wie die amerikanischen Cowboys.

Sehr gute Beispiele von der Änderung in der Richtung eines rollenden Körpers können beim Kegelschieben erhalten werden. Sie wissen, daß die Kugel, wenn sie nicht ein kleines Gewicht im Innern hätte, welches die Achse derselben zu wenden trachtet, auf der Oberfläche der Kegelbahn in gerader Richtung hinrollen und ihre Geschwindigkeit immer geringer würde, bis sie endlich stille stände. Es ist Ihnen aber die Tatsache bekannt, daß nur anfänglich, wenn sich die Kugel rasch bewegt, ihre Bahn ziemlich gerade ist. Weil die Kugel aber ein exzentrisch angebrachtes Gewicht im Innern hat, ist die Bahn doch nie vollkommen gerade, und mit dem Abnehmen der Geschwindigkeit krümmt sie sich immer mehr und mehr. Je langsamer die Drehung, um so größer ist bei allen unseren Beispielen die Abweichung von der geraden Bahn infolge der eine Neigung der Achse erstrebenden Kräfte.

Genaue Beobachtung wird Sie nun zu einer einfachen Regel über das Verhalten eines Gyrostaten führen. Alles,

was bisher unbegreiflich oder merkwürdig erschienen ist, wird in der Tat auf einmal verständlich, wenn ich, statt zu sagen, der Gyrostat bewegt sich auf- oder abwärts oder nach links oder rechts, von einer Bewegung um verschiedene Achsen spreche. Bloßer Verschiebung setzt er keinen Widerstand entgegen. Wenn ich aber von einer horizontalen Bewegung sprach, so hätte ich sagen sollen, der Gyrostat bewege sich um die vertikale Achse AB (Abb. 13). Und was ich als eine Auf- oder Abwärtsbewegung von F bezeichnete, ist in Wirklichkeit nur eine Bewegung in einer vertikalen Ebene um die horizontale Achse CD. Wenn ich künftig versuche, F eine Bewegung zu erteilen, denken Sie lediglich an die Achse, um welche ich zu drehen suche, und dann werden Sie durch eine kleine Betrachtung den Grund hierfür finden.

Hier ist ein Gyrostat (Abb. 17), der in Ringen*) so sorgfältig aufgehängt ist, daß weder die Schwerkraft noch Reibungskräfte in den Gelenkzapfen auf ihn einwirken können; nichts, was ich mit dem Rahmen, den ich in der Hand halte, beginne, wird die Richtung der Achse des Gyrostaten beeinflussen. Sie sehen, daß ich mich wie ein Ballettänzer auf meinen Zehen drehe, während ich den Apparat in meiner Hand halte. Ich bewege ihn auf alle möglichen Arten, aber wenn er anfänglich nach dem Polarsterne zeigte, wird er immer nach diesem Sterne zeigen; zeigte er aber anfangs nach dem Monde, so wird er auch weiter nach dem Monde

*) Es ist dies die sogenannte Cardanische oder Bohnenbergersche Aufhängung, welche hauptsächlich bei Schiffskompassen Verwendung findet. Anmerkung des Übersetzers.

zeigen. Hieraus ist zu entnehmen, daß mangels Reibungswiderständen in den Gelenkzapfen nahezu keine Kräfte vorhanden sind, welche die Drehachse des Gyrostaten zu wenden suchen, und ich kann ihr daher nur verschiebende Bewegungen erteilen. Nun will ich aber die vertikale Achse mit einer Schraube festklemmen und meinen Ballettanz von neuem beginnen; Sie bemerken nun, daß ich mich nicht ganz herumzudrehen brauche, sondern daß schon ein kleiner Teil der Drehung genügt, um zu bewirken, daß die Drehachse des Gyrostaten (Abb. 18) sich vertikal stellt, also parallel zur vertikalen Drehachse, um welche ich mich drehe. Nun drehe ich mich in der entgegengesetzten Richtung, und plötzlich wendet sich der Gyrostat mit einem Saltomortale vollständig um und behält wieder eine vertikale Achse bei, und wenn Sie sehr sorgfältig die Richtung der Drehachse des Gyrostaten verfolgen, ohne Rücksicht auf bloße Verschiebungen, so werden Sie die Richtigkeit der folgenden Regel finden: Wenn die Achse eines sich drehenden Körpers gezwungen wird, sich zu neigen, wird sich das Bestreben zeigen, die Drehachse des Körpers mit der Achse, um



Abb. 17.

welche sie gedreht oder geneigt wird, in die gleiche Richtung zu bringen, ja noch mehr, er wird den Sinn seiner Eigendrehung so umändern wollen, daß er mit dem Sinne jener Drehung, welche seine Achse erleidet, übereinstimmt. Ich drehe mich abermals auf den Zehen herum, indem ich diesen Rahmen halte, und ich weiß, wenn jemand von der Decke auf den Gyrostaten und mich herunter sehen würde, so würde er bemerken, daß ich mich in der Richtung des Zeigers einer Uhr drehe, d. i. in demselben Sinne, wie sich der Gyrostat um seine Achse dreht; sobald ich mich aber zurückdrehe, entgegengesetzt der Richtung des Zeigers einer Uhr (Abb. 19), schlägt der Gyrostat über, damit er sich wieder in derselben Richtung drehe, in der ich mich selbst drehe.



Abb. 18.

Das ist also die einfache Regel, welche Sie in den Stand setzen wird, vorauszusagen, wie ein Gyrostat sich bewegen wird, wenn man versucht, ihn in irgendeine besondere Lage zu bringen. Sie brauchen sich nur zu erinnern, daß, wenn man die Bemühungen lange genug

fortsetzt, die Drehachse sich parallel zu der neuen Bewegungsachse stellen wird und der Sinn der ursprünglichen Drehung derselbe werden muß wie jener der neuen Drehbewegung.



Abb. 19.

Lassen Sie uns nun diese Regel auf den ausbalancierten Gyrostaten anwenden. Ich stoße ihn oder erteile ihm einen Impuls nach abwärts, aber beachten Sie wohl, daß dies eigentlich eine Drehung um die horizontale Achse *CD* (Abb. 13) bedeutet, und der Gyrostat wendet nun seine Achse so, als wenn sie suchen würde, sich zur Achse *CD* parallel zu richten. Von oben herab gesehen (wie Abb. 20 zeigt) war *OE* die Richtung der Drehachse, *OD* war die Achse, um welche ich den Gyrostaten zu bewegen strebte, und die augenblickliche Wirkung war, daß *OE* in die Lage *OG* überging. Ein stärkerer Impuls derselben Art würde bewirkt haben, daß die Drehachse sofort nach *OH* oder *OJ* gelangt wäre, während ein nach aufwärts gerichteter entgegengesetzter Impuls verursacht hätte, daß die Drehachse die Richtung *OK*, *OL* oder *OM* einnehmen würde, je nach der Größe des Impulses und der Raschheit der Drehung. Wenn man diese Erscheinung zum erstenmal wahrnimmt, würde man sagen: „Ich drückte den Gyro-

staten nach abwärts und er bewegte sich nach rechts, oder ich drückte ihn nach aufwärts und er bewegte sich nach links"; wäre aber die Richtung der Drehung der wirklichen entgegengesetzt, so würde man sagen „Ich drückte ihn nieder und er bewegte sich nach links, ich hob ihn in die Höhe und er bewegte sich nach rechts." Der richtige Ausdruck in allen diesen Fällen sollte lauten: „Ich suchte den Gyrostaten um eine neue Achse zu drehen, und die Wirkung war, daß er seine ursprüngliche Drehachse in die Richtung der neuen Achse zu bringen suchte." Und wenn Sie nun mit diesem ausbalancierten Gyrostaten spielen würden, wie ich es mache, indem Sie ihn nach allen Richtungen stoßen, so würden Sie finden, daß die Regel richtig ist und es keine Schwierigkeit bietet, vorherzusagen, was eintreten wird. Ist aber die Regel richtig, wird uns das Eintreten des Vorrückens sofort klar. Ich bringe diesen

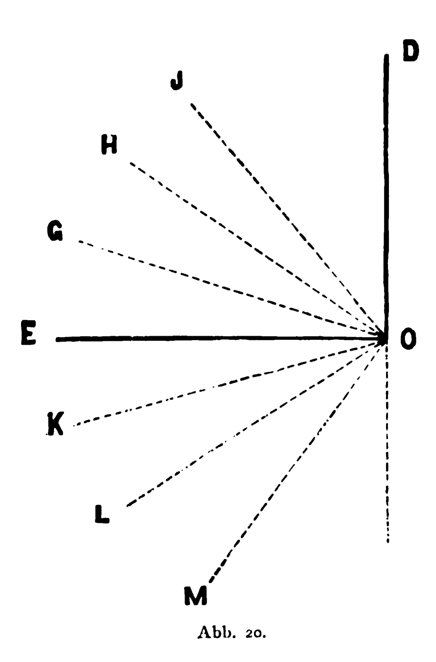


Abb. 20.

Gyrostaten (Abb. 13) außer Gleichgewicht, und wenn er sich nicht in rascher Drehung befände, so würde er nach abwärts fallen; aber eine nach abwärts wirkende Kraft bewirkt tatsächlich, daß sich der Gyrostat nach rechts bewegt, und so sehen Sie, daß er beständig in dieser Richtung fortschreitet, denn die Kraft wirkt beständig nach abwärts, und die Drehachse strebt beständig der neuen Achse nach, um welche die Schwere ihn zu drehen sucht. Wir sehen auch, daß, wenn das Gleichgewicht in der entgegengesetzten Weise gestört wird, d. h. wenn die Schwerkraft den Gyrostaten zu erheben trachtet, die Vorrückung in der entgegengesetzten Richtung stattfindet. Und wenn ich jetzt mit dem Gyrostaten spiele, indem ich ihm alle Arten von Stößen erteile, kann man eine weitere Beobachtung machen und erkennen, daß sich die früher gegebenen Regeln vereinfachen. Wenn ich zum Beispiel diesen Stab benutze, um das Vorrücken zu beschleunigen, so bewegt sich der Gyrostat entgegen der Kraft, welche das Vorrücken hervorbringt. Ich lege besonderen Wert darauf, daß Sie sich auch weiterhin dessen erinnern. Jetzt ist das Gegengewicht so gestellt, daß der Gyrostat, wenn er sich nicht drehen würde, herabfiele. Aber weil er sich dreht, nimmt er eine vorrückende Bewegung an. Wäre die Schwerkraft größer, so würde er rascher vorrücken, und es wird uns klar, daß es dieses Vorrücken ist, welches die Schwerkraft an der Abwärtsbewegung des Apparates hindert. Sie bemerken, daß, wenn das Vorrücken beschleunigt wird, es mehr als hinreichend ist, die Schwerkraft auszubalancieren, daher erhebt sich der Gyrostat. Wenn ich das Vorrücken verzögere, so ist es nicht im-

stande, der Schwerkraft das Gleichgewicht zu halten, und der Gyrostat sinkt. Wenn ich die vertikale Achse festklemme, so daß ein Voreilen unmöglich wird, so werden Sie bemerken, daß der Gyrostat geradeso fällt, als wenn er sich nicht drehen würde. Wenn ich das Instrument so einspanne, daß es sich nicht vertikal bewegen kann, so sehen Sie dagegen, wie leicht ich es horizontal beweglich machen kann, ich kann es in horizontale Drehung versetzen wie einen gewöhnlichen Körper.

Bei der Anwendung unserer Regel auf diesen Kreisel beachten Sie, daß *EF* die Drehachse des Kreisels ist (Abb. 12). Wie aus der Figur ersichtlich ist, trachtet die Schwere, den Kreisel um die Achse *FD* zu drehen und die eigentliche Drehachse beschreibt beim Vorrücken in ihrem Streben nach der Achse *FD* einen Kegel. Dieser Gyrostat, der so schwer wie ein Kreisel ist, dreht sich und rückt in derselben Weise vor wie ein Kreisel; wenn Sie nämlich entweder unsere Regel anwenden oder Ihre eigenen Beobachtungen benutzen, werden Sie finden, daß für einen über dem Tische befindlichen Beobachter sowohl das Drehen als auch das Vorrücken in derselben Richtung stattfindet, d. i. entweder beide in der Richtung des Zeigers einer Uhr oder beide entgegengesetzt dieser Richtung. Bei einem Kreisel hingegen, wie jener (Abb. 21) in seinem Schwerpunkte unterstützte, oder bei einem Gyrostaten wie Abb. 22, der ebenfalls im Schwerpunkte aufgehängt ist, oder bei dem Gyrostaten Abb. 56, oder bei jedem anderen Gyrostaten, der so unterstützt ist, daß er sich im stabilen Gleichgewicht befände, wenn er sich nicht drehen würde; in

allen diesen Fällen findet das Vorrücken für einen auf den Tisch niederblickenden Beobachter in entgegengesetzter Richtung zu jener der Drehung statt.

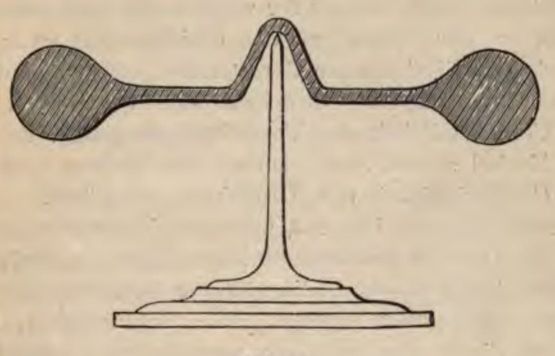


Abb. 21.



Abb. 22.

Wird einem Kreisel oder Gyrostaten ein Stoß in der Richtung des Vorrückens gegeben, so wird er sich im entgegengesetzten Sinne zur Richtung der Schwerkraft erheben, und würde in irgendeinem Augenblicke die Geschwindigkeit des Vorrückens größer werden, als sie gerade sein sollte, um der Schwerkraft das Gleichgewicht zu halten, so wird der Kreisel oder Gyrostat sich erheben und die Geschwindigkeit des Vorrückens sich vermindern. Ist die Geschwindigkeit des Vorrückens zu gering, so wird der Kreisel sinken, und während des Sinkens wird sich die Geschwindigkeit des Vorrückens vergrößern.

Nun behaupte ich, daß alle diese Tatsachen, welche lediglich aus Beobachtungen hervorgegangen sind, mit meinen Regeln stimmen. Es wäre mir lieb, wenn Sie sich dessen stets bewußt blieben. Wie Sie bemerken, habe ich an dieser Wandtafel die verschiedenen Regeln zusammengestellt. Hierbei spreche ich von der Schwerkraft als der Ursache des Vorrückens, aber es können auch irgendwelche andere als die durch die Schwere erzeugten Kräfte angenommen werden.

Wandtafelregeln. 1. Wenn Kräfte auf einen sich drehenden Körper einwirken und bestrebt sind, eine Drehung um irgendeine andere Achse als die ursprüngliche Drehachse zu bewirken, so setzt sich die ursprüngliche Drehachse in bessere Übereinstimmung mit der neuen Drehachse. Vollständige Übereinstimmung würde bei vollständigem Parallelismus der Achsen stattfinden; die Richtungen der Drehungen haben gleichen Sinn.

2. Beschleunigt man das Vorrücken, so erhebt sich der Körper in entgegengesetzter Richtung zur Schwere.

3. Verzögert man das Vorrücken, so fällt der Körper, wie unter dem Einflusse der Schwerkraft, wenn er sich nicht drehen würde.

4. Ein gewöhnlicher Kreisel rückt in derselben Richtung vor, in welcher er sich dreht.

5. Ein im Schwerpunkte unterstützter Kreisel oder ein Körper, der im stabilen Gleichgewichte sich befände, wenn er sich nicht drehen würde, rückt in der entgegengesetzten Richtung zu jener vor, in welcher er sich dreht.

6. Die letzten zwei Gesetze kann man auch so ausdrücken: Wenn die auf einen sich drehenden Körper einwirkenden Kräfte das Bestreben haben, den Winkel des Vorrückens zu vergrößern, so erfolgt das Vorrücken in derselben Richtung wie die Drehung und umgekehrt.

Wird ein Gesetz durch Beobachtung gefunden, so sucht jeder Physiker dieses Gesetz zu beweisen; er sucht es zu erklären. Ich hoffe, Sie wissen, was wir meinen, wenn wir sagen, wir wollen eine Erscheinung erklären; wir meinen damit nichts anderes, als daß wir den Zusammenhang dieser Erscheinung mit anderen besser bekannten nachweisen wollen. Wenn Sie einen Spiritisten entlarven und zeigen, daß die dargestellten wunderbaren Erscheinungen nur der Geschicklichkeit seiner Hände und berechneter Täuschung entspringen, so erklären Sie diese Erscheinungen. Zeigen Sie, daß die Erscheinungen zusammenhängen mit wohl beobachteten und klar erwiesenen mesmeristischen Einflüssen, so erklären Sie ebenfalls diese Erscheinungen. Können Sie zeigen, daß Sie mittels telegraphischer Vorgänge oder durch die Reflexion des Lichtes in Spiegeln her-

vorgebracht werden, so suchen Sie auch hierfür die Erklärung zu finden, obwohl Sie in all diesen Fällen in Wirklichkeit weder das Wesen des Mesmerismus noch das der Elektrizität, des Lichtes oder etwaiger moralischer Unlauterkeit kennen.



Abb. 23.

Die schmählichste Art der Kritik ist die, wenn jemand die wissenschaftliche Erklärung damit herabzusetzen sucht, daß er sagt, man könne die einfachsten Vorgänge in der Natur nicht erklären. Ein solcher Mensch zieht den chaotischen und verworrenen Wunderglauben der Wilden den Aufklärungen eines Isaak Newton vor.

Die Erklärung unserer Regel ist sehr einfach. Hier habe ich einen Gyrostaten (Abb. 23), der in der Form einem Globus ähnlich und in Ruhe ist. Es tut mir leid, daß ich gezwungen bin, diesen Globus in sehr auffälliger Weise durch diese ein Universalgelenk bildenden Ringe zu unterstützen. Wenn der Globus in der Luft schweben würde und keine Neigung zum Fallen hätte, so würde meine Erklärung leichter zu verstehen sein, und ich könnte sie besser experimentell darstellen. Betrachten Sie den Punkt *P*. Bewege ich den Globus leicht um die Achse *A*, so bewegt sich der Punkt *P* nach *Q*. Stellen Sie sich dagegen vor,

ich hätte den Globus und den innern Ring um die Achse B bewegt, so würde der Punkt P nach R gelangt sein. Nehmen Sie nun weiter an, diese beiden Bewegungen würden gleichzeitig stattfinden, so wissen Sie alle, daß der Punkt P sich weder nach Q noch nach R, sondern nach S bewegen würde, da PS die Diagonale des kleinen Parallelogrammes bildet. Die resultierende Drehung erfolgt also weder um die Achse OA, noch um jene OB, sondern um eine Achse OC.

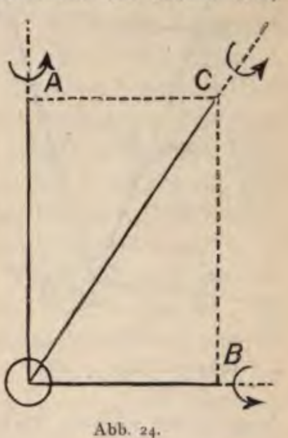


Abb. 24.

Ich habe nun diesem Globus zwei gleichzeitige Drehungen erteilt, wobei Sie sich nun vorstellen wollen, auf dem Globus befände sich ein kleines Wesen, welches die Ringe nicht sehen könnte, aber imstande wäre, die anderen Gegenstände in diesem Zimmer zu bemerken, dasselbe würde sagen, die Richtung, um welche die Drehung geschah, ist weder OA noch OB, sondern die wirkliche Achse seines Globus ist eine zwischen diesen beiden liegende Linie, nämlich OC. Wenn also eine Kugel in demselben Augenblicke nach zwei verschiedenen Richtungen einen Drehungsimpuls erhält, so müssen wir, um zu erkennen, wie sie sich drehen wird, zuerst wissen, eine wie starke Drehung jeder Impuls erzeugen würde, wenn er allein wirkte, und um welche Achse jede einzelne Drehung stattfände. Eine dreimalige Drehung in

der Sekunde um die Achse OA (Abb. 24) und eine zweimalige Drehung in der Sekunde um die Achse OB bewirken, daß sich die Kugel in der Tat dreieinhalbmal in der Sekunde um die Achse OC drehen wird. Um zu diesem Ergebnisse zu gelangen, machte ich OA 30 cm

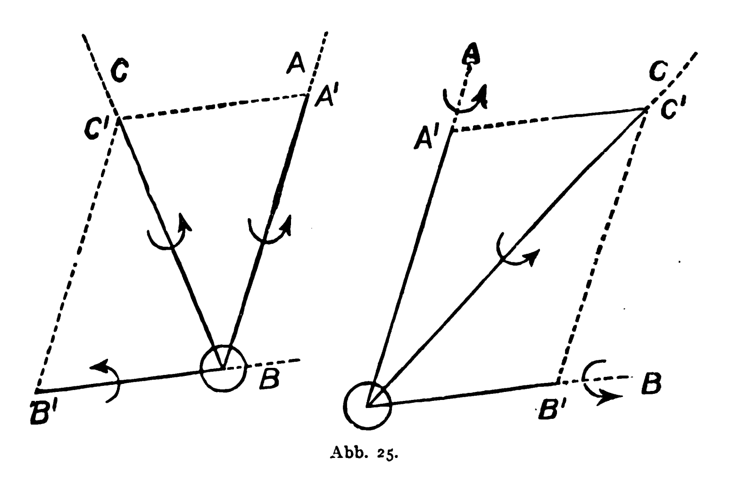


Abb. 25.

lang (jeder andere Maßstab würde für die Darstellung ebenso gut gewesen sein) und OB 20 cm lang, und ich fand die Diagonale OC des Parallelogrammes, welches in der Figur dargestellt ist, mit 35 cm Länge.

Es ist nun zu beachten, daß die Drehung um die Achse OA von O nach A gesehen im Sinne des Zeigers einer Uhr vor sich geht, die Drehung um die Achse OB von O nach B gesehen ebenfalls im Sinne des Uhrzeigers erfolgt, und endlich auch die resultierende Drehung um die Achse OC von O nach C gesehen in der

Richtung des Zeigers einer Uhr stattfindet. Abb. 25 zeigt in zwei Diagrammen, daß notwendigerweise, wenn man von O entweder gegen OA oder OB sieht, die Drehung in bezug auf die Richtung des Zeigers einer Uhr in demselben Sinne erfolgen müsse. Diese Konstruktionen sind allen, welche die Grundgesetze der Mechanik studiert haben, wohlbekannt. Augenscheinlich muß, wenn die Drehung um die Achse OA viel größer als jene um die Achse OB ist, die Lage der neuen Achse OC weit näher an OA als an OB sich befinden.

Wir sehen also, daß, wenn ein Körper sich um eine Achse OA dreht, und wir Kräfte anwenden, die ihn, wenn er in Ruhe wäre, um die Achse OB drehen würden, dies eine Bewegung seiner Achse gegen OC bewirkt, so daß sich die vorhandene Drehachse in bessere Übereinstimmung mit der neuen Drehachse setzt. Dies ist die erste Regel auf unserer Wandtafel, von der alle folgenden Behauptungen abgeleitet sind, sofern sie nicht auch unmittelbar aus der Erfahrung gewonnen wurden. Ich sage aber nicht, daß ich einen alle Fälle erschöpfenden Nachweis geliefert habe, denn die Schwungräder in diesen Gyrostaten laufen in Lagern, und die Lager zwingen die Achsen, die neuen Lagen anzunehmen, während beim Kreisel kein solcher Zwang herrscht; aber in der beschränkten Zeit einer populären Vorlesung ist es selbst, wenn es noch so wünschenswert wäre, nicht möglich, einen vollständigen Beweis einer so allgemeinen Regel, wie die unserige es ist, zu geben. Daß ich nicht alles erschöpft habe, was über diesen Gegenstand gesagt werden könnte, wird durch das Folgende klar werden.

Was wird geschehen, wenn wir einer sich drehenden Kugel eine neue Drehung erteilen? Nehmen Sie z. B. an, die Erde wäre eine homogene Kugel und es würde ihr plötzlich eine neue drehende Bewegung erteilt, welche das Bestreben hätte, Afrika nach Süden zu rücken; die Achse der neuen Drehung würde ihren Pol in Java haben; diese Drehung in Verbindung mit der alten würde bewirken, daß die Erde nun ihren wahren Pol irgendwo zwischen dem jetzigen Pole und Java hätte; sie würde nicht länger um ihre jetzige Achse sich drehen. Tatsächlich würde die Drehungsachse geändert werden, aber es wäre kein Anlaß zu irgendwelchen weiteren Ereignissen vorhanden, denn eine homogene Kugel dreht sich um die eine Achse geradeso leicht wie um eine andere. Würde aber derartiges bei unserer wirklichen Erde geschehen, die keine Kugel, sondern ein abgeplattetes Sphäroid ist, dessen Polardurchmesser ein Drittel Prozent kürzer ist, als der äquatoriale, dann würde, sobald die neue Achse in Wirksamkeit tritt, die Symmetrieachse sich gegen diesen Wechsel sträuben und versuchen, wieder Drehachse zu werden, und eine mächtige schwingende Bewegung wäre die Folge davon. Ich drücke mich in populärer Weise aus, wenn ich vom Sträuben der Achse rede, und es ist vielleicht besser, wenn ich genauer bezeichne, was ich meine. Ich werde hierzu den Ausdruck Zentrifugalkraft benutzen. Es gibt allerdings gewichtige Stimmen, die sich gegen diesen Ausdruck erklären, aber alle unsere Ingenieure gebrauchen ihn, und daher benutze ich ihn gern, während unsere hervorragenden Kritiker zu allen möglichen schändlichen Sprachverrenkungen greifen, um ihn zu vermeiden. Damit

ist nämlich die Kraft gemeint, welche ein Körper, der gezwungen wird, einen krummen Weg zu beschreiben, diesem Zwange entgegensetzt. Diese Kraft ist immer vom Mittelpunkte des Bogens nach auswärts gerichtet. Wird eine am Ende eines Fadens befestigte Kugel im Kreise herumgeschwungen, so sucht die Zentrifugalkraft den Faden zu zerreißen. Wenn irgendein mit einem Stabe verbundener Körper mit dem Stabe sich dreht, so kann es sein, daß die Zentrifugalkräfte aller Teile sich gerade das Gleichgewicht halten, aber manchmal geschieht dies nicht, und dann sagen wir, der Stab befinde sich nicht im Gleichgewicht.

Hier ist beispielweise eine sich drehende Holzscheibe, die sich im Gleichgewichte befindet. Ich unterbreche nun ihre Bewegung und befestige dieses Stück Blei *A* an derselben, jetzt bemerken Sie, daß, wenn die Scheibe sich dreht, sie sich so sehr außer Gleichgewicht befindet, daß die Lager der Achse, der Rahmen der sie hält und selbst der Tisch schwanken. Jetzt will ich die Dinge wieder ins Gleichgewicht bringen, indem ich ein anderes Stück Blei *B* an der entgegengesetzten Seite von *A* befestige. Setze ich die Scheibe (Abb. 26) abermals in Drehung, so hört das Schwanken der Rahmen sofort auf. Wenn das Gestänge der Lokomotive nicht durch zweckmäßig an den Treibrädern angebrachte Gegengewichte ausbalanciert wird, so gibt es wohl niemanden

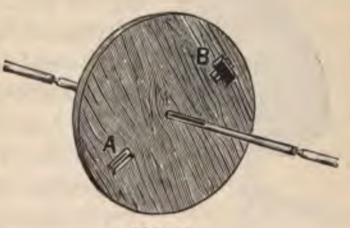


Abb. 26.

im Zuge, der die Wirkung hiervon nicht fühlen wird. Ja selbst die Kohlenrechnungen werden diese Wirkungen ausweisen, denn eine unausgeglichene Maschine zieht den Zug stoßweise, statt daß sie einen wirksamen, gleichmäßigen Zug ausübt. Mein Freund Professor Milne in Japan stellte Meßinstrumente für Erdbeben auf die Maschinen und in die Züge, um diese und andere Mängel in der Ausbalancierung zu messen, und er hat unzweifelhaft dargetan, daß zwei Maschinen von nahezu der gleichen Bauart, von denen die eine vollständig ausgeglichen war und die andere nicht, einen sehr verschiedenen Aufwand von Kohlen verursachten, wenn sie denselben Weg mit derselben Geschwindigkeit zurücklegten.



Abb. 27.

Wenn sich ein drehender Körper im Gleichgewicht befindet, geht nicht allein die Drehungsachse durch den Schwerpunkt (oder besser den Massenmittelpunkt) des Körpers, sondern die Drehungsachse muß auch eine der drei durch den Massenmittelpunkt des Körpers gehenden Hauptachsen sein. Hier ist beispielsweise ein Ellipsoid aus Holz; *AA*, *BB* und *CC* (Abb. 27) sind seine drei Hauptachsen, und es würde im Gleichgewichte sein, wenn es sich um irgendeine der drei Hauptachsen drehen würde, dagegen wäre dies nicht der Fall, wenn es sich um irgendeine andere Achse drehen würde, außer es wäre eine homogene Kugel, bei der jeder Durchmesser eine Hauptachse ist.

Jeder Körper hat drei solche durch seinen Massenmittelpunkt gehende Achsen, und auch dieser Körper (Abb. 27) hat sie; aber ich habe ihn gezwungen, sich nm die Achse *DD* zu drehen, und sie können die Wirkung der unausgeglichenen Zentrifugalkräfte beobachten, die nahezu stark genug ist, um das Rahmenwerk in Trümmer zu zerreißen. Je größer die Geschwindigkeit ist, um so mehr macht sich der Mangel dieses Ausgleiches geltend. Wird die Geschwindigkeit verdoppelt, so werden die Zentrifugalkräfte viermal so groß; und die modernen Maschineningenieure müssen bei ihren rasch gehenden Maschinen, deren einige, wie die Schleudermaschinen der Torpedoboote, 1700 Umdrehungen in der Minute machen, diesem Gegenstande große Aufmerksamkeit zuwenden, während sich die älteren Ingenieure hierüber nie den Kopf zerbrachen. Hierbei muß man sich erinnern, daß, wenn der Mangel des Kräfteausgleiches das Rahmenwerk der Maschine auch tatsächlich nicht zertrümmert, doch alles derart gerüttelt und geschüttelt wird, daß Nieten und Schrauben und andere Befestigungen ganz gewiß locker werden.

Ich habe an einer schlecht ausbalancierten Maschine ein sicher befestigtes Paar von Schraubenmuttern, von denen die eine bestimmt war, die andere zu halten, gesehen, wie sie sich langsam und gleichzeitig um ihre Bolzen drehten und sich sanft, aber mit einer ziemlich großen Geschwindigkeit loslösten, bis beide vom Ende des Bolzens in meine Hand fielen. Wäre meine Hand nicht dagewesen, so wären die Schraubenmuttern in ein Gefäß gefallen und hätten dort eine wohl sehr interessante, aber ebenso zerstörende Erscheinung verursacht.

Und wäre dieser Fall eingetreten, so würde heute abend wohl irgendein anderer als ich hier vortragen.

Nehmen Sie an, unsere Erde würde sich um irgendeine andere Achse als die gegenwärtige — die Figurenachse — drehen. Wenn sie sich z. B. um irgendeinen Durchmesser des Äquators drehte, so würden die Zentrifugalkräfte das Ganze gerade in einem Zustande des unstabilen (labilen) Gleichgewichtes erhalten und keine große Veränderung des bestehenden Zustandes eintreten, insolange nicht irgendein Zufall eine ganz geringfügige Änderung der Lage der Drehachse bewirkte; dann würde aber ein gewaltiges Schwingen der Erde folgen. Wie lange und wie heftig die Erde schwingen würde, hängt von einer Reihe von Umständen ab, auf welche wir nun einzugehen versuchen werden. Sobald ich annehme, daß sie nicht infolge der Heftigkeit der Schwingungen etwa ihre Form vollständig ändere, so weiß ich, daß sie wegen der durch die Fluterscheinungen hervorgerufenen und wegen anderer Reibungen wahrscheinlich bald wieder zu einer ruhigen Drehung um ihre jetzige Achse gelangen würde.

Sie sehen daher, daß bei jedem Körper, obwohl er drei Achsen besitzt, um welche er sich im ausbalancierten Zustande ohne eine Neigung zum Schwingen drehen würde, dieser Ausgleich der Zentrifugalkräfte in zwei von den drei Fällen nur ein unstabiler (labiler) ist, daß es nur eine Achse gibt, um welche eine vollständig stabile und ausgeglichene Drehung platzgreifen wird, und daß ferner ein sich drehender Körper, der sich selbst überlassen ist, nach Ablauf eines längeren Zeitraumes dazu kommt, sich um diese Achse zu drehen, sobald eine

Reibung vorhanden ist, die das Schwingen zur Ruhe bringt.

Um das Gesagte anschaulich zu machen, habe ich hier eine Methode, die Körper in Drehung zu versetzen, welche es ermöglicht, jene Hauptachse zu ihrer Dre-

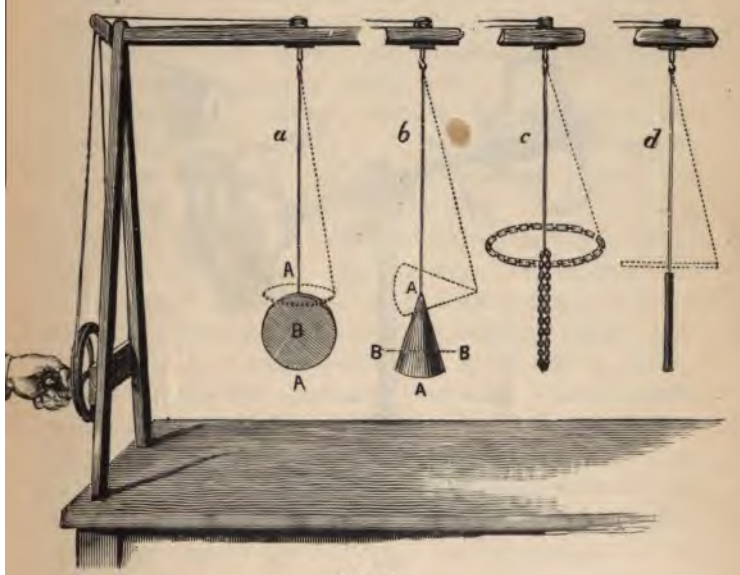


Abb. 28.

hungsachse zu machen, um welche die Drehung am stabilsten wird. Die verschiedenen Körper können an diese Schnur angehängt werden und ich kann die Rolle, an welcher die Schnur hängt, in Drehung versetzen. Beachten Sie, daß anfänglich die Scheibe (Abb. 28a) sich

ganz ruhig um die Achse *AA* dreht, aber bald bemerken Sie den leisen Beginn des Schwingens; jetzt wird das Schwingen heftig, und nun dreht sich die Scheibe ruhig und stabil um die Achse *BB*, da diese die wichtigste der Hauptachsen ist.

Dieser Kegel (Abb. 28 b) wieder dreht sich zuerst



Abb. 29.

ruhig um die Achse *AA*, aber das Schwingen beginnt und wird immer größer, und schließlich dreht sich der Kegel ebenfalls ruhig um die Achse *BB*, die die wichtigste der drei Hauptachsen ist.

Hier ist wieder ein an einem Ende aufgehängter Stab.

Betrachten Sie noch diesen festen Ring, doch jener schlaffe Kettenring dürfte Sie mehr interessieren (Abb. 28 c). Sie sehen, wie er anfänglich vertikal an dem Faden herunterhängt, und wie die Schwankungen und Vibrationen damit enden, daß er zu einem vollkommen kreisförmigen Ring wird, der ganz in einer horizontalen Ebene liegt. Dieses Experiment bringt auch die scheinbare Steifigkeit zur Anschauung, die einem biegsamen Körper durch rasche Bewegung erteilt wird.

Kehren wir nun zu unserem ausbalancierten Gyrostaten (Abb. 13) zurück. Da er nicht vorrückt, so wissen Sie, daß das Gegengewicht *W* gerade dem Gyrostaten *F* das Gleichgewicht hält. Wenn ich das Instrument nun sich selbst überlasse, nachdem ich *F* einen Stoß nach abwärts gegeben habe, ohne einen gleichmäßigen Druck auszuüben, so bemerken Sie, daß *F* aus bekannten Gründen nach rechts schwingt, aber es schwingt zu stark und zu weit, gerade wie jeder andere schwingende Körper, und man kann nach dem, was ich bereits mitteilte, leicht vorhersagen, daß das Resultat die hin- und herschwingende oder nickende Bewegung (Abb. 29) sein wird, und daß sie so lange andauern wird, bis die Reibung sie zum Stillstande bringt. *F* nimmt seine bleibende neue Lage erst nach Verlauf einiger Zeit an.

Sie sehen, daß ich diese schwingende oder nickende Bewegung dem Gyrostaten beibringen kann, ob er nun in einem Vorrücken (Präzession) begriffen ist oder nicht. Er schwingt nun, während er gleichzeitig in der Runde vorrückt, d. h. er fällt und steigt wieder, während er vorrückt.

Vielleicht ist es gut, wenn ich den Gegenstand noch

etwas klarer mache. Sie sehen die gleiche Erscheinung an diesem Kreisel. Wenn das Vorrücken mit Beziehung auf die Schwere zu rasch erfolgt, so erhebt sich der Kreisel, und folglich tritt eine Verlangsamung des Vorrückens ein; jetzt ist das Vorrücken zu langsam, um der Schwere Gleichgewicht zu halten, der Kreisel sinkt etwas und das Vorrücken wird beschleunigt. Eine derartige Schwingung um eine Mittellage geht geradeso vor sich, wie die Schwingung eines Pendels und dauert so lange, bis die Reibung sie zerstört und der Kreisel wieder regelmäßig in der Mittellage vorrückt. Bei einem nahezu horizontal ausgeglichenen Gyrostaten tritt dieses Schwingen (Nicken) auffälliger hervor als bei einem Kreisel, da bei diesem die Drehkraft der Schwere in den höheren Lagen abnimmt.

Sobald Männer der Wissenschaft ihre Entdeckungen zu popularisieren versuchen, sagen sie oft, um die Tatsachen recht klar zu machen, kleine Unwahrheiten und stellen Behauptungen auf, welche irreführen können, wenn die Schüler eine höhere Stufe der Erkenntnis erreichen. So erzählen die Astronomen dem Publikum, daß die Erde in einer elliptischen Bahn um die Sonne läuft, während die Anziehungskräfte der Planeten bewirken, daß die Bahnen nur nahezu elliptisch sind; und die Elektriker sagen den Leuten, daß die elektrische Kraft durch die Drähte fortgepflanzt wird, während sie sich tatsächlich durch jeden anderen Raum fortpflanzt, als jenen, den die Drähte einnehmen. Ich habe in dieser Vorlesung Ihnen gegenüber ebenfalls durch Anwendung des erwähnten Kunstgriffes in geringem Maße Vorteil gezogen; Sie werden sich z. B. erinnern, daß

ich anfänglich das Schwingen oder Nicken überging, welches durch einen Stoß bei einem Gyrostaten oder Kreisel erzeugt wird, und weiter habe ich die Tatsache verschwiegen, daß die augenblickliche Drehachse nur nahezu mit der Figurenachse eines vorrückenden Gyrostaten oder Kreisels zusammenfällt. Sie wollen aber im allgemeinen überzeugt sein, daß man, wenn alle Behauptungen vollständig genau sein sollten, nötig hätte, Hunderte von technischen Ausdrücken zu gebrauchen, erklärende Sätze einzuschalten und wie in einem Polizeiberichte Parenthesen einzuflechten; und viele solche Behauptungen anzuhören wäre selbst einem Gelehrten unmöglich. Sie werden gewiß kaum für möglich halten, daß auch ein so großer Gelehrter, wie der verstorbene Professor Rankine, als er von poetischer Begeisterung erfaßt wurde, sich irren konnte, mehr sogar als ein populärer Vorleser, indem er die Grundlage seiner Behauptung den Erfordernissen des Versmaßes sowie der notwendigen Vereinfachung anpaßte. In seinem Gedichte „Der verliebte Mathematiker“ sind folgende Zeilen enthalten:

„Die Frau liebt das Tanzen; er findet die Gleichung
Für Walzer und Polka sonder Beschwerde:
Nun wagt er's, sich um die Achse zu drehn,
Dabei kommt der Schwerpunkt seitwärts zu stehn,
Und er fällt durch die Schwerkraft der Erde.“

Ich zweifle nicht, daß dieser Abstecher in die Poesie so gut ist, als er von einem Mann der Wissenschaft erwartet werden kann, aber seine Wissenschaft ist ebensogut, als man sie von einem Manne erwartet, der sich Dichter nennt; in beiden Fällen haben wir den Beweis

für die Unverträglichkeit von Wissenschaft und Dichtkunst.

Die Bewegung dieses Gyrostaten kann aber noch verwickelter gemacht werden als durch die Nutation (das Schwanken, Nicken) und die Präzession (das Vorrücken), doch gibt es hierbei nichts, was nicht durch die einfachen Regeln, die ich vorgeführt habe, zu erklären wäre. Betrachten Sie z. B. diesen gut ausbalancierten Gyrostaten (Abb. 17). Wenn ich irgendwie an den innern Ring schlage, so sehen Sie, daß er sofort in eine zitternde Bewegung gerät, wie ein Stück Gallerte, seine raschen Vibrationen hören geradeso auf wie die gleich raschen Vibrationen irgendeines nachgiebigen elastischen Körpers. Diese merkwürdige Elastizität ist von größtem Interesse, wenn wir sie im Zusammenhalte mit den molekularen Eigenschaften der Materie betrachten. Hier (Abb. 30) haben wir ein Beispiel, welches vielleicht noch interessanter ist. Ich habe den in einer Trommel eingeschlossenen Gyrostaten von Abb. 5 und 6 auf ein Paar Stelzen gestellt, und Sie können beobachten, daß er sich in vollkommen stabiler Weise, aber mit einer äußerst merkwürdigen taumelnden Art von Vibration bewegt; und doch gibt es an diesen Bewegungen, so eigentümlich sie auch sind, nichts, was

Abb. 17.

nicht leicht erklärt werden kann, wenn Sie mir bisher gefolgt sind.

Einige unter Ihnen, die aufmerksamer als die anderen sind, werden bemerkt haben, daß alle die vorrückenden Gyrostaten nach und nach sich mehr und mehr neigen, geradeso, wie es, nur etwas rascher, geschehen würde, wenn sie sich nicht drehen würden. Und wenn Sie die dritte Behauptung auf unserer Wandtafel (Seite 41) ins Auge fassen, so werden Sie leicht verstehen, warum dies so ist.

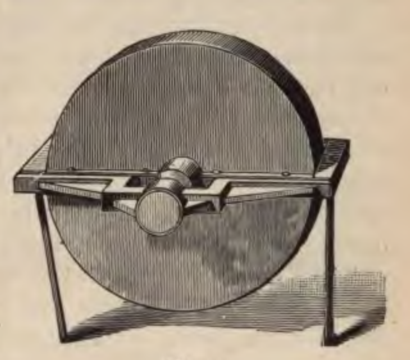


Abb. 30.

„Verzögert man das Vorrücken, so fällt der Körper, wie unter dem Einflusse der Schwerkraft, wenn er sich nicht drehen würde.“ Nun wird aber das Voreilen all dieser Gyrostaten durch die Reibung gehemmt, und daher neigen sie sich immer mehr und mehr.

Ich wäre begierig zu erfahren, ob mir jemand so weit gefolgt ist, um nun auch zu wissen, warum ein drehender Kreisel sich hebt. Vielleicht hatten Sie noch nicht Zeit, daran zu denken, aber ich habe bereits mehrere Male die besonderen Gründe hervorgehoben, welche diese Erscheinung erklären. Die Reibung verursacht den Fall eines Gyrostaten; was bewirkt, daß ein Kreisel aufsteht? Rasches Sicherheben in die senkrechte Lage ist ein un-

trügliches Zeichen der raschen Drehung eines Kreisels, und ich erinnere daran, daß wir einst sagten: „Er schläft“, wenn er ganz senkrecht stand. Dies war die poesievolle Art, in welcher der jugendliche Experimentator über den schönen Gegenstand seiner zärtlichen Neigungen dachte.

So gut bekannt nun das Bestreben der Kreisel, die senkrechte Lage anzunehmen, war, seit man Kreisel zuerst tanzen ließ, so frage ich doch alle in dieser Halle Anwesenden, ob sie die Erklärung hierfür wissen, und es ist fraglich, ob sie überhaupt sehr vielen Leuten bekannt ist. Jeder Mathematiker wird Ihnen sagen, daß man die Erklärung gewiß im Routh gedruckt findet, oder daß er in Cambridge Männer kenne, die sie sicher wissen, vielleicht meint er auch, daß er sie selbst einmal gewußt habe, daß er aber diese schwierigen, mathematischen Beweise, an denen er einst seinen Verstand schärfte, nun vergessen habe. Ich glaube, daß alle diese Behauptungen irrtümlich sind, obwohl ich dessen nicht ganz sicher bin.*) Eine teilweise Theorie der Erscheinung gab Herr Archibald Smith vor vielen Jahren in dem Mathematischen Journal von Cambridge, aber wirklich gelöst wurde das Problem erst von Sir William Thomson und Professor Blackburn, als sie ein Jahr lang an der Seeküste zubrachten, um sich für das große Cambridger mathematische Examen vorzubereiten. Es wird gewiß

*) Als dieser Vortrag mit der obigen Behauptung gerade unter der Presse war, verwies mich Prof. Fitzgerald auf des verstorbenen Prof. Jellet „Abhandlung über die Theorie der Reibung“, herausgegeben 1872, und da fand ich auf Seite 18 die mathematische Erklärung für das Sichaufrichten eines Kreisels.

demjenigen, der sich für Thomsons Erfolge interessiert, befremdend erscheinen, wenn er erfährt, daß die Ferien am Seegestade von ihm und seinem Freunde dazu benutzt wurden, alle möglichen Arten runder Steine, die sie an der Düne auflasen, zum Tanzen zu bringen.

Ich werde Ihnen nun die merkwürdige Erscheinung zeigen, welche Thomson in jenem Jahre zu denken gab.

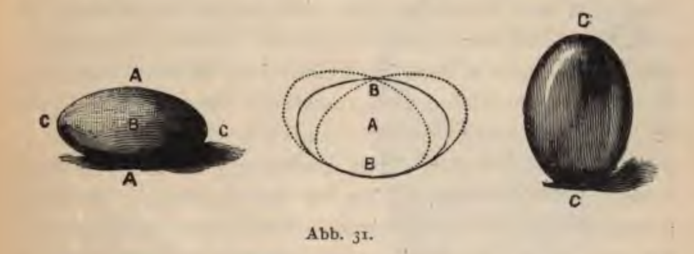


Abb. 31.

Dieses Ellipsoid (Abb. 31) stelle einen vom Wasser abgeschliffenen Stein dar. Es liegt in einem sehr stabilen Zustande auf dem Tische und ich erteile ihm eine rasche Drehbewegung. Sie sahen, daß es eine oder zwei Sekunden lang geneigt war, sich um die Achse *AA* zu drehen, dann aber begann es heftig zu schwanken und als nach einer Weile die Schwankungen aufhörten, sahen Sie, daß es sich ganz hübsch um die jetzt vertikale Achse *BB* drehte; dann kam neuerlich eine Anzahl von Schwankungen, und als diese aufhörten, bemerkten sie, daß das Ellipsoid schließlich in einen Beharrungszustand der Drehung kam und mit seiner längsten Achse aufrecht stand. Dies ist für alle diejenigen, welche die Neigung dieses Körpers, sich in derselben Weise zu drehen, in

der ich ihn zuerst in Drehung versetzte, kennen, eine außergewöhnliche Erscheinung. Sie werden finden, daß beinahe jeder abgerundete Stein, wenn er in Drehung versetzt wird, sich in dieser Weise nach seiner längsten Achse richtet, wenn die Drehung nur hinreichend rasch ist; ganz auf dieselbe Weise sucht sich auch der tanzende Kreisel immer mehr aufzurichten.

Ich glaube, daß es sehr wenige mathematische Erklärungen von Erscheinungen gibt, welche man nicht in ganz gewöhnlicher Sprache Leuten begreiflich machen kann, die einen allgemeinen Grad von Bildung besitzen. In den meisten Fällen muß zuerst die symbolische, algebraische Erklärung durch jemanden vorgebracht werden, dann ist es Zeit für deren Umsetzung in die gewöhnliche Ausdrucksweise. Dies ist die Grundlage für den neuen, sogenannten technischen Unterricht, welcher dahin zielt, daß dem Arbeiter die Gesetze gelehrt werden, welche die Grundlagen des Handwerkes bilden, das er ausübt, daß wir unsere Erklärungen auf die Erfahrungen aufbauen, welche sich der Mann bereits erworben hat, ohne ihn durch einen vierjährigen Kursus mit dem Studium von elementaren Gegenständen zu ermüden. Das letztere ist zweckmäßig für unerfahrene Kinder und auch für Jünglinge an Mittelschulen und auf Universitäten.

Infolge unserer gemachten Erfahrungen wird die Erklärung des Sichaufrichtens eines Kreisels lächerlich einfach. Wenn Sie das Gesetz Nr. 2 unserer Wandtafel lesen (Seite 40) und darüber etwas nachdenken, so werden einige von Ihnen imstande sein, ohne weitläufige Mathematik den einfachen Grund für das anzugeben, was mir

Thomson vor 16 Jahren sagte: „Beschleunigt man das Vorrücken, so erhebt sich der Körper in einer der Schwerkraft entgegengesetzten Richtung.“ Da ich den Kreisel nicht berühre und der Körper sich aufrichtet, so suchen wir nach demjenigen, was das Voreilen beschleunigt, und wir sehen natürlich zunächst auf den Weg, welchen die untere Spitze des Kreisels auf dem Tische zurücklegt, denn mit Ausnahme der Luft berührt dieser Kreisel sonst nichts als die Tischfläche. Beachten Sie sorgfältig, wie jeder dieser Gegenstände vorrückt. Abb. 32 zeigt den Weg, in welchem der Kreisel vorrückt. Von oben angesehen, dreht sich der Kreisel in der Richtung der Zeiger einer Uhr; wir wissen entweder infolge der vierten Regel auf der Wandtafel oder durch bloße Beobachtung, daß er auch in der Richtung des Uhrzeigers vorrückt, d. h. das Vorrücken findet in der Weise statt, als ob die Spitze bei B in das Papier hineinzurollen strebte. Denn Sie werden bemerkt haben, daß

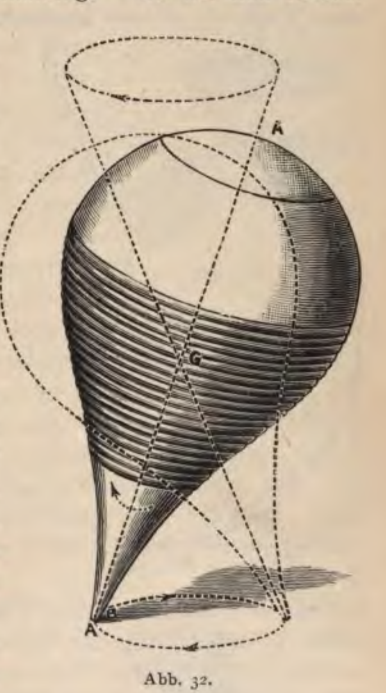


Abb. 32.

die Spitze auf dem Tische einen kreisrunden Weg beschreibt. G ist beinahe bewegungslos, und die Achse AGA beschreibt nahezu einen Kegel, dessen Spitze über dem Tische in G sich befindet. Abb. 33 zeigt die untere Spitze in vergrößertem Maßstabe, und es ist klar, daß der Punkt B, welcher den Tisch berührt, gewissermaßen den unteren Teil eines Rades BB' bildet. Da sich dieses Rad nun dreht, so ist eine Folge dieser Drehung, daß das Rad in das Papier auf der Tischfläche hinein- und von uns wegrollen will. Und nun beachten Sie weiter, daß das Rad BB' nur infolge des Vorrückens in das Papier rollen will, und daß eine genügend große Achsendrehung das Rollen des Rades rascher zu machen strebt, als das Vorrücken des Kreisels es rollen läßt, dadurch das Vorrücken des Kreisels beschleunigend, weshalb sich der Kreisel erhebt. Dies ist die einfache Erklärung; solange die Achsendrehung groß genug ist, beschleunigt sie immer das Voreilen, und wenn Sie Ihre Erinnerungen an die Tage ihrer Jugend auffrischen, so wird Ihnen einfallen, daß, wenn bei einem Kreisel,

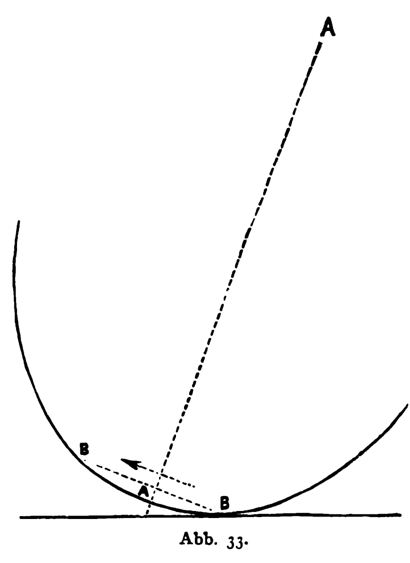


Abb. 33.

den Sie auf Ihrer Handfläche tanzen ließen, wie ich jetzt den meinigen (Abb. 34), die Achsendrehung ganz langsam wurde und es unmöglich war, den Kreisel aufrecht zu halten, Sie geschickt dem Voreilen nachhalfen, indem Sie mit Ihrer Hand eine kreisförmige Bewegung machten, und so von Ihrem Kreisel den Genuß eines etwas längeren Tanzens in aufrechter Stellung erreichten.



Abb. 34.

Ich lade Sie nun ein, entweder auf Grund der Beobachtung oder durch Anwendung des soeben dargelegten Gesetzes den Kampf zu erklären, den ein runder, auf dem Tische sich drehender Stein unternimmt, um sich auf seiner längsten Achse gerade aufzurichten. Zuvor muß ich Ihnen mitteilen, daß einige dieser großen, abgerundeten Gegenstände, welche sich zur besseren Veranschaulichung vor Ihnen drehen, hohl geformt und entweder aus Zink oder Holz hergestellt

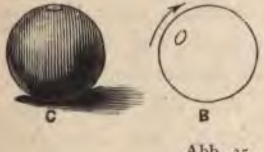




Abb. 35.

sind, denn ich besitze nicht die erforderliche Geschicklichkeit, um so große Körper in Drehung zu versetzen; ich brauche aber Gegenstände, die Sie sehen können.

Dieser kleine Körper (Abb. 31) ist der einzige vollständig dichte, dem meine Finger noch eine hinreichend rasche Drehung geben können. Hier ist ein sehr interessanter kugelförmiger Gegenstand (Abb. 35), bei welchem der Schwerpunkt nicht mit dem Figurenmittelpunkt zusammenfällt, so daß er, wenn ich ihn auf den Tisch lege, immer in die Lage des stabilen Gleichgewichtes gelangt, wobei der weiße Fleck wie bei *A* die Tischfläche berührt. Einige von Ihnen werden wohl wissen, daß diese Kugel, wenn sie in die Luft geworfen wird, sehr eigentümliche Bewegungen macht, weil man geneigt ist, zu vergessen, daß es der Schwerpunkt ist, der einen einfachen Weg beschreibt, und die Umhüllungsfläche exzentrisch gegen den Schwerpunkt liegt. Ebenso eigenartig sind die Bewegungen dieser Kugel, wenn sie auf einem gespannten Tuche ins Rollen gebracht wird.

Versetzt man nun diese Kugel auf dem Tische in Drehung, so sucht sie immer die weiße Stelle nach oben zu bekommen, wie in *C* Abb. 35, also in eine Lage zu gelangen, in welcher sie, wenn sie sich nicht drehen würde, unstabil wäre, und zwar aus denselben Gründen, welche ich bereits angegeben habe.

Das Vorrücken eines Kreisels oder Gyrostaten leitet unsere Gedanken ohne weiteres auf das Vorrücken (die Präzession) des großen sich drehenden Körpers, auf dem wir leben. Sie wissen, daß die Erde sich in etwas mehr als 24 Stunden einmal um ihre Achse dreht, geradeso, wie diese Orange sich dreht, und daß sie einmal im Jahre rund um die Sonne läuft, geradeso, wie die Orange in dem Modell sich rund um die angenommene Sonne bewegt, oder wie dies das Diagramm

Abb. 36 zeigt. Die Richtung der Drehachse weist möglichst genau nach dem als Polarstern bekannten Sterne, der in beinahe unendlicher Ferne sich befindet. In der Abbildung, sowie im Modelle habe ich die Exzentrizität der Erdbahn bedeutend übertrieben, wie dies üblich ist, obwohl es etwas irreführen kann, denn die Erdbahn nähert sich viel mehr einem Kreise, als man sich gewöhnlich vorstellt. Eine Tatsache ist es aber, daß die Erde im Winter der Sonne um 3 Millionen Meilen näher ist als im Sommer. Das scheint anfänglich widersinnig zu sein, aber man begreift es, wenn man überlegt, daß wir, die wir auf der nördlichen Halbkugel leben, infolge der Neigung der Erdachse gegen die Ekliptik die Sonne weniger senkrecht über uns und einen kürzeren Tag im Winter haben, wodurch jeder Quadratschuh unseres Teiles der Erdoberfläche mit jedem Tage viel weniger Wärme empfängt; deshalb ist es bei uns eben kälter. In 13000 Jahren wird aber die Erde gerade um eine halbe Umdrehung vorgerückt sein (siehe Abb. 38); dann wird ihre Achse, wenn sie der Sonne am nächsten steht, auch gegen diese statt ab von ihr geneigt sein, und daher werden wir es im Sommer dann viel wärmer, und im Winter viel kälter als jetzt haben. Tatsächlich werden wir dann viel schlimmer daran sein, als die Bewohner der südlichen Halbkugel es jetzt sind, denn sie haben reichlich Seewasser, um ihr Klima zu mäßigen. Die Natur des Wechsels ist leicht aus den Abb. 36, 37 und 38 oder auch an dem Modelle zu erkennen, wenn ich die Orange an ihrer symbolischen Stricknadel um die Sonne des Modelles herumführe. Denken Sie sich einen Beobachter, der sich über diesem Modelle,

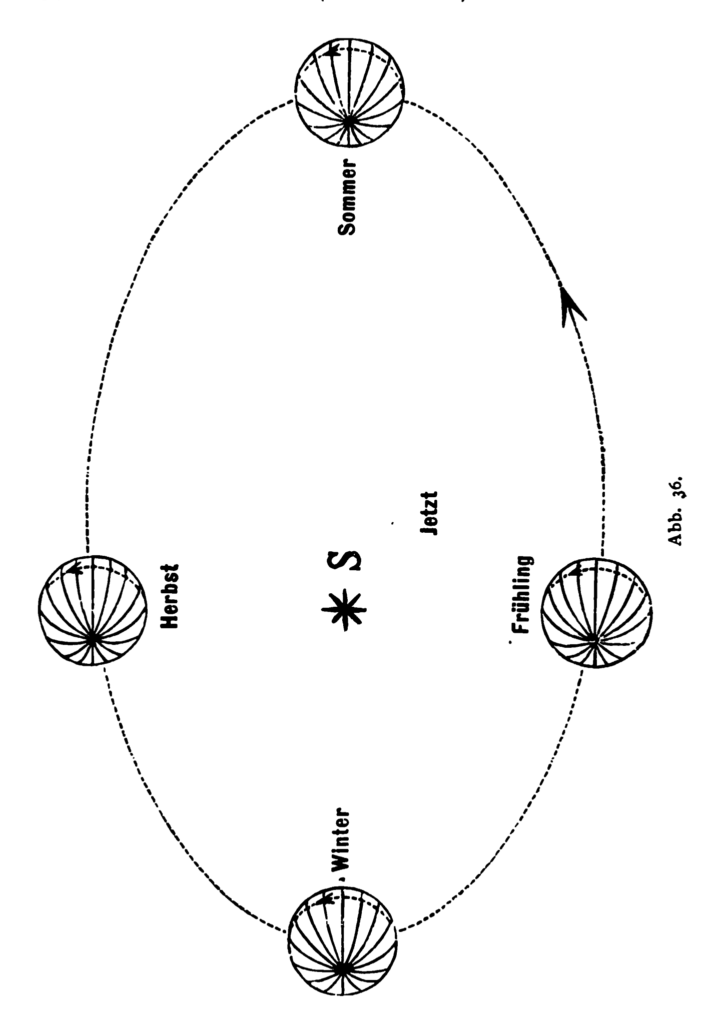


Abb. 36.

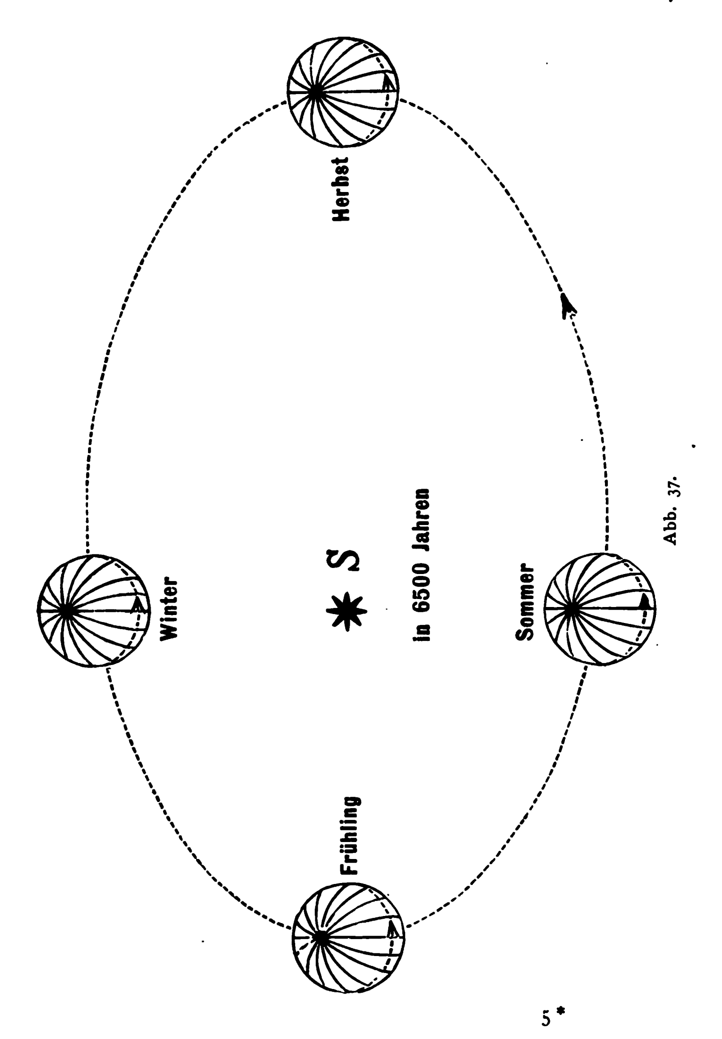


Abb. 37.

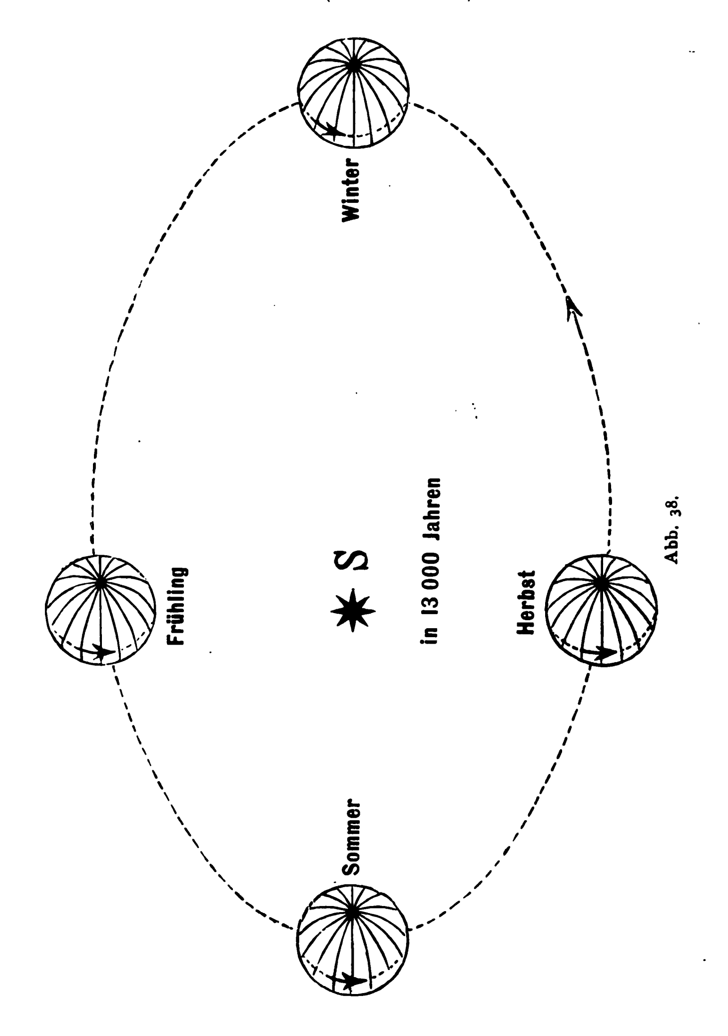


Abb. 38.

also weit über dem Nordpol der Erde, befindet. Dieser sieht, daß sie sich entgegen dem Sinne des Zeigers einer Uhr dreht, und er findet, daß das Vorrücken in der Richtung des Zeigers einer Uhr stattfindet, so daß Drehung und Vorrücken (Präzession) entgegengesetzten Sinn haben. Hiervon stammt auch das Wort „Vorrücken“ („Präzession“), welches wir jetzt bei der Bewegung eines Kreisels anwenden, obwohl das Vorrücken des Kreisels in derselben Richtung wie die Drehung erfolgt.

Wenn Ihnen der praktische Astronom die Lunisolarpräzession der Äquinoktien erklärt, wird er sich wahrscheinlich nicht auf Gyrostaten oder Kreisel beziehen. Er wird Ihnen sagen, daß die Länge und Rektaszension eines Sternes sich zu ändern scheinen; oder vielmehr, daß der Punkt der Ekliptik, von dem er bei seinen Messungen ausgeht, nämlich der Frühlings-Tag- und Nachtgleichenpunkt, in der Ekliptik langsam in der Runde weiter wandert, und zwar in einer Richtung, die jener entgegengesetzt ist, in welcher die Erde in ihrer Bahn oder die Sonne bei ihrer scheinbaren Bewegung läuft. Der Frühlings-Tag- und Nachtgleichenpunkt ist für die Messungen am Himmel dem Astronomen das, was die Länge von Greenwich dem Seefahrer ist. Er wird Ihnen sagen, daß die Aberration des Lichtes und die Parallaxe der Sterne, aber mehr als diese beiden das Vorrücken (die Präzession) der Tag- und Nachtgleichenpunkte die drei wichtigsten Dinge sind, welche es verhindern, daß wir bei der Beobachtung der Durchgänge von Sternen auf Observatorien wahrnehmen, wie sich die Erde in vollkommener Gleichmäßigkeit bewegt. Aber die Art des Astronomen, die Präzession zu beschreiben,

darf Ihnen die physikalische Tatsache nicht verhüllen, daß die von ihm untersuchte Erscheinung und die unsere identisch sind, und daß für uns, die wir mit den Drehkreiseln vertraut sind, die langsame konische Bewegung von Drehachsen leichter verständlich ist, als jene Details seiner Messungen, in denen sein Denken sich



Abb. 22.

bewegt, und die oft einen Mann von großen geistigen Fähigkeiten zu einem Leben voll gewöhnlicher Arbeit zwingen, deren Verrichtung wir in der Regel einem billigen Schreiber überlassen.

Das Vorrücken (die Präzession) der Erde ist also von derselben Art, als das eines in seinem Schwerpunkte aufgehängten Gyrostaten oder eines Körpers, der stabil wäre und kein Übergewicht hätte, auch wenn er sich nicht drehen würde. Tatsächlich ist das Vorrücken der Erde übereinstimmend mit jenem dieses großen Gyrostaten (Abb. 22), der in Ringen aufgehängt ist, so daß

er eine Schwingung wie ein Pendel machen würde, wenn er sich nicht drehte. Wenn ich ihn nun in Drehung versetze, und zwar von oben gesehen in einem dem Zeiger einer Uhr entgegengesetzten Sinne, dann können Sie beobachten, wie er in der Richtung des Zeigers einer Uhr vorrückt. Hier habe ich weiter ein halbkugelförmiges hölzernes Schiff, in dem sich ein Gyrostat mit senkrechter Achse befindet. Es ist im stabilen Gleichgewicht. Dreht sich der Gyrostat nicht, so schwingt das Schiff, außer Gleichgewicht gebracht, langsam hin und her, wird der Gyrostat aber in Drehung versetzt, so nimmt das Schiff eine vorrückende Bewegung in entgegengesetzter Richtung zu jener der Drehung an. Die Astronomen haben seit Hipparchs Zeiten für uns Beobachtungen über die Bewegung der Erde gemacht, und wir haben wieder die Bewegungen der Gyrostaten beobachtet, und daher suchen wir natürlich nach einer Erklärung für die vorrückende Bewegung der Erde. Der Äquator der Erde bildet mit der Ekliptik, welche die Ebene der Erdbahn ist, einen Winkel von $23\frac{1}{2}^0$. Die Drehungsachse der Erde schließt nun mit der Senkrechten zur Ekliptik immer einen Winkel von $23\frac{1}{2}^0$ ein und macht in 26000 Jahren eine vollständige Umdrehung. Die Oberfläche des Wassers, auf welchem dieses hölzerne Schiff schwimmt, möge nun die Ekliptik darstellen. Die Drehachse des Gyrostaten ist um $23\frac{1}{2}^0$ gegen die Senkrechte geneigt; das volle Vorrücken geschieht aber statt in 26000 Jahren in zwei Minuten; und würde das Schiff eine sehr große, kreisförmige Bahn beschreiben, so hätten wir in seinem Vorrücken eine ganz genaue Darstellung des Vorrückens der Erde.

Die vorrückende Bewegung des Schiffes oder des Gyrostaten (Abb. 22) läßt sich erklären, und in derselben Weise erklärt sich das Vorrücken der Erde sofort, wenn wir Kräfte finden, die von außerhalb liegenden Körpern ausgehen, und die Drehungsachse der Erde in eine rechtwinklige Stellung zur Ekliptik zu bringen suchen.

Die Erde ist nahezu ein kugelförmiger Körper. Wäre sie vollständig kugelförmig und homogen, so würde die Resultierende der von einem fernen Körper ausgehenden Anziehungskräfte geradlinig durch ihren Mittelpunkt gehen. Und ebenso verhielte es sich, wenn die Erde kugelförmig, aber nicht homogen wäre, die Massen von gleicher Dichte jedoch in kugelförmigen Schichten, wie die Schalen einer Zwiebel, angeordnet wären. Aber die Erde ist nicht kugelförmig, und um Aufschluß über die anziehende Wirkung ferner Körper zu erhalten, war es notwendig, Pendelbeobachtungen über die ganze Erde zu machen. Wie Sie wissen, ermöglicht es ein Pendel von gleicher Länge, welches an verschiedenen Orten aufgestellt wird, durch die Zeit seiner Schwingungsdauer die Schwerkraft an jedem Orte zu bestimmen, und Herr Green bewies, daß, wenn wir die Schwerkraft aller Orte auf der Erdoberfläche kennen würden, wir, ohne etwas über den Zustand des Erdinnern zu wissen, mit vollständiger Genauigkeit die Kraft berechnen könnten, welche von der Erde auf irgendeinen außerhalb derselben befindlichen Gegenstand ausgeübt wird, z. B. für jeden Punkt der Mondbahn oder für die Sonne. Und gleichzeitig würden wir dann auch die gleiche und entgegengesetzte Kraft, mit welcher ein solcher Gegenstand auf die Erde wirkt, kennen. Nun wurden Pendelbeobachtungen an

sehr vielen Orten auf der Erde angestellt, und wir kennen daher, wenn auch nicht mit vollkommener Genauigkeit, die Anziehungskraft, welche außerhalb der Erde befindliche Gegenstände auf diese ausüben. So wissen wir beispielsweise, daß die Resultierende der Kräfte, mit welcher die Erde von der Sonne angezogen wird, nicht durch den Mittelpunkt der Erdmasse geht. Sie werden die Sache besser verstehen, wenn ich mich auf diese Zeichnung beziehe, welche die Erde in der Mitte des Winters darstellt (Abb. 39) und eine populäre Methode der Darstellung benutze. *A* und *B* mögen etwa die vorspringenden Teile der Erde genannt werden — es ist dies der vorstehende Gürtel jener Materie, welcher der Erde die Gestalt einer Orange statt einer Kugel gibt. Die Resultierende der Anziehungskräfte auf den inneren kugelförmigen Teil, den wir den homogenen nennen wollen, geht durch den Mittelpunkt.

Ich werde nun die Anziehung des vorspringenden mit *AB* bezeichneten Gürtels untersuchen. Die Sonne zieht ein Kilogramm der Masse bei *B* mehr an als ein Kilogramm jener bei *A*, weil *B* ihr näher liegt als *A*, und daher hat die Gesamtresultierende der Kräfte mehr

Abb. 39.

die Richtung *MN* als die durch den Mittelpunkt gehende *OO*. Nun wissen wir aber, daß eine in der Richtung *MN* wirkende Kraft ersetzt werden kann durch eine ihr parallele Kraft *OO* und ein Kräftepaar, welches den Äquator gegen die Sonne zu neigen sucht.

Sie gelangen zu dem genauen Ergebnisse der drehenden Wirkung des Kräftepaares, wenn Sie sich die ganze Masse der Sonne gleichmäßig als einen materiellen, kreisförmigen Ring denken, der einen Durchmesser von 184 Millionen Meilen besitzt und gegen den Erdäquator um einen Winkel von $23\frac{1}{2}^0$ geneigt ist. Unter dem Einflusse dieses Ringes würde die Erde wie ein großes Schiff auf ruhiger See, das sehr langsam rollt und das in drei Jahren erst eine vollständige Schwingung macht, schwanken. Aber die Erde dreht sich um ihre Achse, und das Dreh- oder Kräftepaar wirkt auf dieselbe geradeso wie die Kräfte, welche immer dahin streben, dieses Schiffsmodell in eine aufrechte Lage zu bringen, und daher hat sie eine vorrückende Bewegung, deren vollständige Periode 26000 Jahre beträgt. Befindet sich in dem Schiffe kein Körper mit einer Achsendrehung, so findet eine vollständige Schwingung in 3 Sekunden statt; wenn ich jedoch den Gyrostaten an Bord des Schiffes in drehende Bewegung versetze, so beträgt der Zeitraum des vollständigen Vorrückens 2 Minuten. In beiden Fällen besteht die Wirkung der Kreiseldrehung in der Umwandlung einer kurzen Schwingung in ein Vorrücken von viel längerer Dauer.

Zwischen dem Gyrostaten und der Erde besteht aber ein großer Unterschied. Die Kräfte, welche auf den Kreisel wirken, sind immer dieselben, aber die auf die

Erde wirkenden Kräfte ändern sich beständig. Im Winter- und Sommersolstitium ist das Kräftepaar am größten, im Frühlings- und Herbstäquinoktium ist gar kein solches Kräftepaar vorhanden, so daß das Vorrücken (die Präzession) seine Geschwindigkeit jedes Vierteljahr ändert und von einem Maximum zur Null und von der Null zum Maximum wird. Es findet aber immer in demselben Sinne, und zwar in entgegengesetzter Richtung zur Achsendrehung der Erde statt. Wenn wir daher von der vorrückenden Bewegung der Erde sprechen, so denken wir immer an eine mittlere gleichförmige Bewegung, während diese Bewegung eigentlich in jedem Vierteljahre rascher und wieder langsamer wird.

Weiter ist der Mond geradeso wie die Sonne in Tätigkeit; er sucht den Äquator der Erde in die Ebene der Mondbahn zu drehen. Die Ebene der Mondbahn ist nahezu dieselbe wie jene der Ekliptik, und daher ist das durchschnittliche Vorrücken (Präzession) der Erde ganz von derselben Art, als ob bloß einer der beiden Himmelskörper, entweder der Mond oder die Sonne, allein wirken würde.

Die allgemeine Erscheinung des Vorrückens (der Präzession) der Erdachse in einer kegelförmigen Fläche während eines Zeitraumes von 26000 Jahren ist also die zusammengesetzte Wirkung der Drehkräfte von Sonne und Mond.

Hier mögen Sie ein Beispiel jener Ungenauigkeiten finden, welche man beim Erklären einer naturwissenschaftlichen Erscheinung mit nahezu zwingender Notwendigkeit einfließen lassen muß. Ich habe bisher nur gesagt, daß die Sonne ein Vorrücken der Erde bewirkt.

Dies war zulässig, denn die Ebene der Ekliptik schließt immer nahezu genau einen Winkel von $23\frac{1}{2}^0$ mit dem Erdäquator ein; wenn aber auch im großen Ganzen die Wirkung des Mondes nahezu gleichartig mit jener der Sonne, nur beiläufig zweimal so groß ist, so ist sie doch weit mehr veränderlich. Der größere Einfluß des Mondes auf die Neigung der Erdachse ist geradeso wie die Verursachung von Ebbe und Flut durch denselben dem Umstande zuzuschreiben, daß er sich uns viel näher befindet als die Sonne, und dieser größere Einfluß besteht trotz der viel kleineren Masse des Mondes im Vergleich zu der der Sonne.

Da die Ekliptik mit dem Erdäquator einen Winkel von $23\frac{1}{2}^0$ einschließt und die Mondbahn gegen die Ekliptik um $5\frac{1}{2}^0$ geneigt ist, so tritt der Fall ein, daß die Mondbahn manchmal mit dem Erdäquator den Winkel von 29^0, manchmal aber nur 18^0 bildet, und zwar ändert sich derselbe langsam von 29^0 bis zu 18^0 und wieder zurück bis zu 29^0 in ungefähr 19 Jahren. Dies verursacht das, was man die „Nutation" oder die Schwankung (das Nicken) der Erde nennt, und der Einfluß der Sonne auf die Neigung der Erdachse wird hierdurch sehr beeinflußt und wesentlich verändert. Das Ergebnis der veränderlichen Natur der Wirkung des Mondes ist nun, daß die Erdachse den Weg eines elliptischen Kegels um das beschreibt, was wir ihre mittlere Lage nennen. Hiebei müssen wir uns auch erinnern, daß zweimal in jedem Mondmonat der Einfluß des Mondes auf die Neigung der Erdachse größer und zweimal gleich Null ist, und daß er beständig seinen Wert ändert.

Im ganzen bringen Mond und Sonne und zu einem geringen Teile auch die Planeten eine Gesamtwirkung des Vorrückens (der Präzession) hervor, welche sich in einem Zeitraume von 25695 Jahren wiederholt. Das Vorrücken ist nicht vollkommen gleichförmig, da seine Geschwindigkeit im Sommer und Winter einen Größtwert annimmt, d. h. es besteht ein Geschwindigkeitswechsel, dessen Periode ein halbes Jahr beträgt; dann gibt es aber noch eine Geschwindigkeitsänderung, deren Periode einen halben Mondmonat ausmacht; das Vorrücken (die Präzession) geht heute abend schneller vor sich als am nächsten Sonntag, dann wird es wieder während der folgenden Woche anwachsen und während der nächsten sich vermindern. Nebstbei besteht noch infolge der Neigung der Bahnen um $5\frac{1}{2}^0$ etwas, was mit dem Nicken unseres vorrückenden Gyrostaten zu vergleichen ist, da die Neigung der Erdachse gegen die Ekliptik nicht immer $23\frac{1}{2}^0$ bleibt, sondern sich in einer Periode von 19 Jahren ändert. Nehmen wir an, der Mittelpunkt der Erde wäre in *O* festgehalten, so sehen wir an diesem Modelle und in Abb. 40, daß die Erdachse in 25866 Jahren einen nahezu vollkommenen Kreisbogen an der Himmelskugel beschreibt, wobei ihre Geschwindigkeit in jedem halben Jahre und in jedem halben Monate schwankt. Ganz vollkommen ist der Kreisbogen jedoch nicht, tatsächlich ist es eine wellenförmige Linie mit einer vollständigen Welle in je 19 Jahren, die aber noch kleinere Ausbauchungen besitzt, welche den halbjährlichen und vierzehntägigen Perioden entsprechen. Die Hauptursache der Nutation aber, nämlich die 19jährige retrograde Bewegung der

Mondknoten, wie sie genannt wird, wird nun selbst wieder genau in derselben Weise hervorgebracht, wie das Vorrücken eines Gyrostaten, nämlich durch Kräftepaare, welche auf einen um die Achse sich drehenden Körper wirken.

Stellen Sie sich vor, daß die Erde stille stehe und Sonne und Mond sich um sie herumbewegen. Gauß hat sodann gefunden, daß die Wirkung der Massen von Sonne und Mond dieselben sind, als wenn sie rund in ihren Bahnen verteilt wären. Stellen Sie sich nun beispielsweise vor, daß die Mondmasse in ihrer Bahn in der Form eines steifen Ringes von 480000 Meilen Durchmesser verteilt wäre, und zwar derart, daß sich dort, wo jetzt die Geschwindigkeit größer ist, weniger Masse befände, daß also der Ring dicker im Apogäum, dünner im Perigäum des Mondes wäre. Ein derartiger Ring rund um die Erde würde den Saturnringen ähnlich sein, welche auch ein Vorrücken der Knoten aufweisen, nur sind die Saturnringe nicht steif, weil sonst kein Gleichgewicht bestehen würde. Lassen wir nun die Erde außer Spiel und stellen wir uns vor, der Ring allein würde bestehen und es würde nur sein Mittelpunkt eine jährliche Bewegung um die Sonne vollführen, dann würde

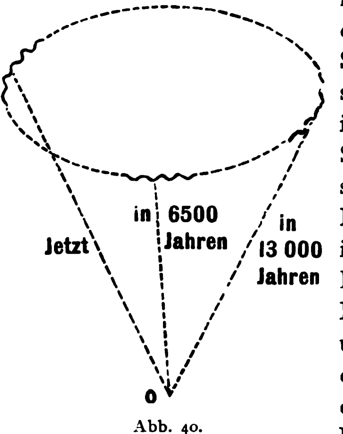


Abb. 40.

der Ring, da er einen Winkel von $5^1/_2{}^0$ mit der Ekliptik einschließt, um die Ekliptik schwingen, bis er denselben Winkel auf der andern Seite mit ihr bilden würde, und dann wieder zurückkehren. Nun dreht sich aber dieser Ring in 27 Sonnentagen und 8 Stunden einmal um seinen Mittelpunkt, und daher wird er nicht länger, wie ein Schiff, das auf einer Sandbank sitzt, auf- und niederschwanken, sondern er wird eine vorrückende Bewegung in entgegengesetzter Richtung zu seiner eigenen Drehung machen. Da die Bewegung des Ringes, wenn man von Norden auf die Ekliptik herabsieht, entgegengesetzt dem Zeiger einer Uhr ist, so findet diese rückschreitende Bewegung der Mondknoten in der Richtung der Zeiger einer Uhr statt. Es ist genau dieselbe Erscheinung wie das Vorrücken (die Präzession) der Äquinoktien, nur mit der viel kürzeren Periode von 6798 statt 25866 Jahren.

Ich habe Ihnen gesagt, daß, wenn die Masse der Sonne oder des Mondes bekannt wären, wir den Aufwand der Kräfte oder, besser gesagt, das Drehungsmoment angeben könnten, mit der dieselbe die Erdachse zu neigen sucht. Wir kennen die Geschwindigkeit, mit der sich die Erde dreht, und wir haben auch die vorrückende Bewegung beobachtet. Wenn wir nun der Methode folgen, die ich bereits skizziert habe, so finden wir, daß die Geschwindigkeit eines Körpers mit Achsendrehung gleich sein muß dem Drehungsmoment (Kräftepaare) dividiert durch die Geschwindigkeit der Achsendrehung und durch das auf die Drehungsachse bezogene Trägheitsmoment*) des Körpers. Daher ist die

*) Annähernd genommen bezeichnet Trägheit oder Masse den Widerstand, den ein Körper der Geschwindigkeitsänderung bei

Geschwindigkeit des Vorrückens um so größer, je größer das Drehungsmoment und je kleiner die Geschwindigkeit der Achsendrehung und das Trägheitsmoment des Körpers sind. Sind alle diese Angaben mit Ausnahme von einer bekannt, so ist es leicht, diese eine zu berechnen. Gewöhnlich ist das, wonach wir bei einer solchen Rechnung zielen, die Bestimmung der Masse des Mondes, da die Erscheinung des Vorrückens (der Präzession) und das Auftreten der Gezeiten die einzigen Erscheinungen sind, welche uns in den Stand gesetzt haben, die Masse des Mondes zu berechnen.

Ich will nicht um Nachsicht bitten wegen der Einführung des Ausdruckes Trägheitsmoment, noch will ich ihn erklären. Ich habe es in dieser Vorlesung soviel ich konnte vermieden, mathematische Ausdrücke einzuführen und technische Bezeichnungen zu gebrauchen. Ich möchte Ihnen nur noch begreiflich machen, warum ich mich nicht davor fürchte, in einem populären Vortrag technische Ausdrücke zu benutzen. Wenn irgendeine Unzulässigkeit in einem solchen Beginnen liegt, so muß sie nach meinem Dafürhalten durch das Beifügen einer Erklärung über die genaue Bedeutung eines solchen Ausdruckes noch vergrößert werden. Die Benutzung eines richtigen technischen Ausdruckes fördert dagegen verschiedene nützliche Zwecke. Erstens bereitet sie dem Vortragenden eine gewisse Befriedigung, weil sie ihn in den Stand setzt, etwas genau auszudrücken, wodurch sein Bestreben, seinen Gedankengang vollständig klar-

einer geradlinigen Bewegung oder Verschiebung entgegensetzt, während Trägheitsmoment den Widerstand gegen eine Änderung der Umdrehungsgeschwindigkeit ausdrückt.

zulegen, erfüllt wird, und mit dessen umständlicher Erklärung seine Zuhörer zu belästigen er aber glücklicherweise keine Zeit hat. Zweitens benimmt dies den Zuhörern des populären Vortrages den viel verbreiteten Glauben, daß sie nun alles wüßten, was über den Gegenstand gesagt werden könne. Drittens wird dadurch jedermann, einschließlich dem Vortragenden, belehrt, daß durch die Anwendung einer Methode, die stellenweise etwas überspringt, bei Bearbeitung eines neuen Gegenstandes nichts verloren, sondern meist viel gewonnen wird.

Vor einigen Jahren wurde behauptet, daß, wenn die Erde eine mit einer Flüssigkeit gefüllte Schale wäre und diese Flüssigkeit keine Reibung hätte, wir nur das Trägheitsmoment der Schale bei der Betrachtung des Vorrückens (der Präzession) in Rechnung zu ziehen hätten, und daß, wenn diese Hülle zähe wäre, das Vorrücken (die Präzession) bald ganz verschwinden würde. Um den Einfluß des Trägheitsmomentes bildlich darzustellen, habe ich hier eine Anzahl von Gläsern aufgehängt eines (*a*) mit Sand gefüllt, das andere (*b*) mit Sirup, ein drittes (*c*) mit Öl, ein viertes (*d*) mit Wasser, und ein fünftes (*e*) ist leer (Abb. 41).

Sie sehen, daß, wenn ich die Aufhängedrähte verdrehe und sie dann auslasse, eine schwingende Bewegung wie bei dem Balancier einer Uhr eintritt. Beachten Sie nun, daß das Glas mit Wasser sich sehr rasch bewegt, indem das wirksame Trägheitsmoment nur das des Glases allein ist, und ferner, daß die Schwingungsdauer nahezu dieselbe ist als jene des leeren Glases, d. h. das Wasser scheint sich nicht mit dem

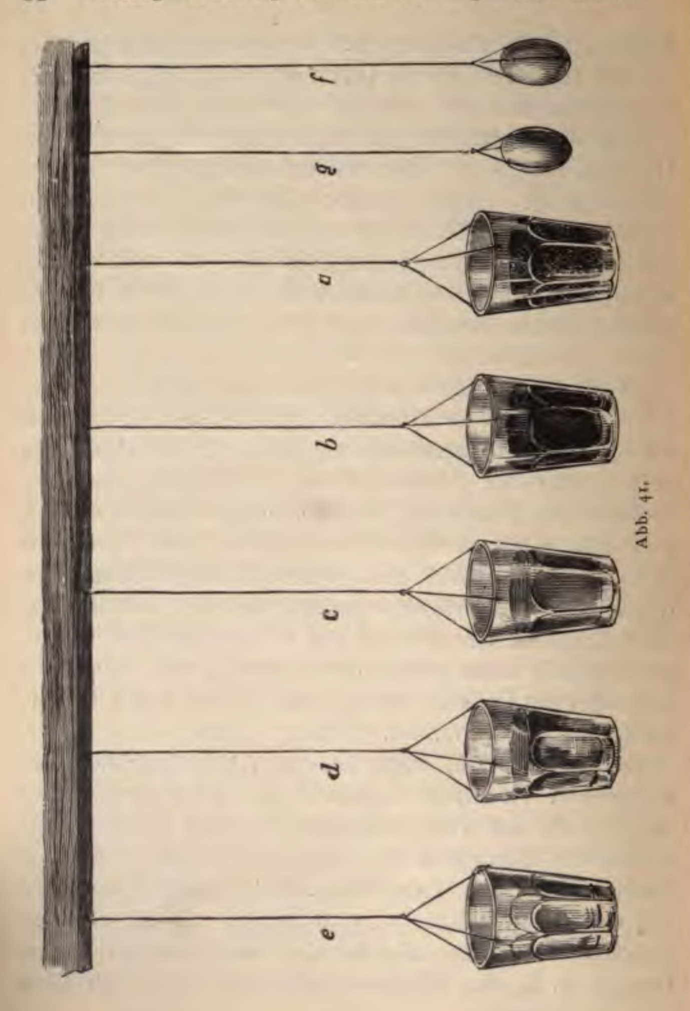


Abb. 41.

Glase zugleich zu bewegen. Sie bemerken auch, daß die Schwingungen eine ziemlich lange Zeit hindurch andauern.

Das mit Sand gefüllte Glas schwingt dagegen langsam; hier ist ein großes Trägheitsmoment vorhanden, da der Sand und das Glas zusammen sich wie ein fester Körper verhalten, und die Schwingung dauert lange Zeit an.

Bei dem Öl und Sirup treten jedoch längere Schwingungsperioden auf als bei dem Wasser und dem leeren Glase, aber kürzere, als es der Fall sein würde, wenn die schwingenden Körper ganz fest wären, die Schwingungen hören jedoch infolge der Reibung rascher auf.

Gekochte (*f*) und ungekochte (*g*) Eier, welche in der gleichen Weise an einem Draht angehängt sind, werden dieselben Unterschiede in ihrem Verhalten zeigen, wie zwei Körper, deren einer im Innern fest, während der andere flüssig ist; Sie sehen, um wieviel langsamer die Schwingung des gekochten als die des ungekochten Eies vor sich geht.

Selbst auf diesem Tische hier kann man leicht den Unterschied zwischen einem gekochten und einem ungekochten Ei zeigen. Bringt man beide ins Rollen, so sehen Sie, daß das ungekochte viel früher stehen bleibt, als das gekochte, weil das erstere wegen der inneren Reibung früher zur Ruhe kommt.

Folgen Sie nun sorgfältig und sehr genau dem folgenden sehr deutlichen Beweis, ob ein Ei gekocht ist oder nicht. Ich rolle das Ei oder drehe es um eine vertikale Achse und dann berühre ich es mit dem Finger nur für einen Augenblick, gerade lange genug, um die

Bewegung der Schale aufzuheben. Sie sehen, daß das gekochte Ei seine Bewegung ganz eingestellt hat, während beim ungekochten nur die Bewegung der Schale gehemmt wurde, der flüssige Inhalt dagegen seine Bewegung nicht nur fortsetzt, sondern auch die der Schale erneuert, sobald ich meinen Finger von derselben entferne.

Man schloß nun, daß, wenn die Erde im Innern flüssig wäre, die vorrückende Bewegung der Erde weitaus schneller sein müßte, als dies tatsächlich der Fall ist, da das wirksame Trägheitsmoment der Schale verhältnismäßig gering wäre und, wie wir aus den vorhergehenden Beispielen gelernt haben, in keinerlei Zusammenhang mit dem Trägheitsmoment der Flüssigkeit stünde. Dies wurde als Grund gegen die Ansicht, daß das Erdinnere flüssig sei, angeführt.

Wir wissen, daß der beobachtete halbjährliche und halbmonatliche Wechsel in dem Vorrücken (der Präzession) der Erde viel größer sein würde, als er tatsächlich ist, wenn die Erde eine feste Schale wäre, die viel Flüssigkeit enthielte, und wenn diese Schale nicht nahezu unendlich fest wäre, so würde die Erscheinung von Ebbe und Flut nicht eintreten; aber mit Rücksicht auf das allgemeine Vorrücken (die Präzession) der Erde unterliegt es keinem Zweifel, daß die alte Kette von Beweisen falsch war. Selbst wenn die Erde im Innern flüssig wäre, so dreht sie sich doch so rasch, daß sie sich in betreff einer so langsamen Erscheinung, wie das Vorrücken der Äquinoktien, wie ein fester Körper verhalten würde. Tatsächlich wurde in der älteren Beweiskette der wichtige Umstand außer acht gelassen, daß

eine rasche Achsendrehung selbst flüssigen Körpern eine scheinbare Steifigkeit verleihen kann. Hier ist ein mit Wasser gefüllter hohler Bronzekreisel (Abb. 42[a]). Die äußere Hülle ist sehr leicht und das im Innern befindliche Wasser hat viel mehr Masse, als diese äußere Umhüllung. Wenn man ihn nun sorgfältig prüft, so findet man, daß der Kreisel sich geradeso dreht, als wenn das Wasser im Innern eine feste Masse wäre, oder als

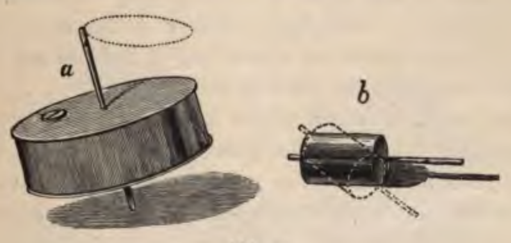


Abb. 42.

wenn der ganze Kreisel fest wäre. Sie sehen ihn hier sich drehen und vorrücken, genau so wie einen festen Kreisel. Ich weiß, daß dieser Kreisel nicht ganz, sondern nur teilweise mit Wasser gefüllt ist, aber ob ganz oder teilweise gefüllt, er dreht sich nahezu wie ein fester Kreisel.

Dies ist bei einem langen, hohlen, mit Wasser gefüllten Bronzekreisel nicht mehr der Fall. Wie ich Ihnen sagte, besitzen alle Körper eine Achse, um welche sie sich hauptsächlich zu drehen streben. Der äußere metallene Teil des Kreisels verhält sich nun in einer Ihnen bereits wohlbekannten Weise; die Reibung seiner unteren Spitze auf der Tischplatte zwingt ihn, sich nach seiner

längeren Achse aufzurichten. Die Flüssigkeit im Innern des Kreisels ist jedoch nicht gezwungen, um die längere Figurenachse sich zu drehen, und da sie die kürzere Achse, gleich allen derartigen Körpern, die ich Ihnen zeigte, vorzieht, so dreht sie sich in ihrer eigenen Weise und zwingt das Gehäuse, infolge der Reibung und Pressung gegen dasselbe, sich um die kürzere Achse zu drehen, indem sie dergestait vollständig das Streben des äußeren Teiles, sich in die Höhe zu richten und die lange Achse aufrechtzuhalten, vernichtet. Daher findet man, daß es vollständig unmöglich ist, einen langen, hohlen, mit Wasser gefüllten Kreisel zum Drehen zu bringen.

Hier ist z. B. einer (Abb. 42[b]), der sich von dem früheren nur durch seine größere Länge unterscheidet. Er ist ganz oder teilweise mit Wasser gefüllt, und Sie können beobachten, daß ich ihm, wenn er in dieses Gestell eingesetzt wird, nur allmählich eine rasche Drehung beibringen kann, lasse ich ihn aber hierauf auf dem Tische aus, wie den anderen, so fällt er plötzlich um und weigert sich entschieden, sich auf seiner Spitze zu drehen. Diese Verschiedenheit des Verhaltens ist besonders bemerkenswert bei zwei hohlen Kreiseln, welche Sie in Abb. 43 vor sich sehen. Beide sind nahezu kugelförmig und beide mit Wasser gefüllt. Sie sehen sich so sehr ähnlich, daß es wenige Personen in der Versammlung geben dürfte, welche einen Unterschied in ihrer Gestalt wahrnehmen. Aber der eine derselben (*a*) ist tatsächlich ein klein wenig breitgedrückt, wie eine Orange, der andere (*b*) dagegen ist etwas in die Länge gezogen, wie eine Limone. Ich werde beiden mit Hilfe dieses Gestelles (Abb. 44) eine nach und nach zunehmende Drehung er-

teilen, welche hinreicht, um eine Zeitlang die Drehung des Wassers im Innern mit Sicherheit zu bewirken. Unmittelbar nach dem Freilassen bewegen sich beide wie gewöhnliche Kreisel auf dem Tische, Wasser und Bronze bewegen sich wie Teile eines festen Kreisels. Sie sehen, daß der orangenförmige fortfährt, sich zu drehen und vorzurücken, daß er sich aufrichtet, wenn er gestört wird, wie ein gewöhnlicher fester Kreisel — ich habe tatsächlich

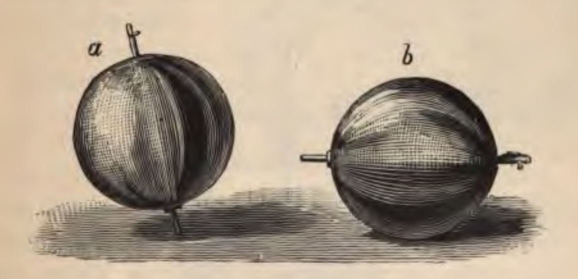


Abb. 43.

selten einen besser gearteten Kreisel gesehen —, während der limonenförmige sich plötzlich auf eine Seite niederlegt und sogleich aufhört, sich in irgendeiner Weise zu bewegen.

Und jetzt werden Sie imstande sein, eine vierte Probe, ob ein Ei gekocht ist oder nicht, anzustellen, die von einer großen Versammlung leichter wahrgenommen werden kann als die letzte. Hier ist ein ungekochtes Ei (Abb. 45[b]). Ich versuche es, so gut ich kann, demselben, wie es auf dem Tische liegt, eine Drehung zu erteilen, aber, wie Sie sehen, bin ich nicht imstande,

eine große Drehung hervorzubringen; daran ist nichts besonderes zu beobachten. Dagegen werden Sie bemerken, daß es ganz leicht ist, das gekochte Ei in Drehung zu versetzen, und zwar aus Gründen, die Ihnen jetzt sehr wohl bekannt sind, es verhält sich dieses Ei wie die Steine, welche Thomson am Seegestade tanzen ließ; es erhebt sich bald auf seine längere Achse, für unser geschultes Auge ein hübscher Anblick (Abb. 45ª). Sie wissen



Abb. 44.

auch alle durch das Verhalten des limonenförmigen Kreisels, daß, wenn ich dem ungekochten Ei durch Benutzung eines rasch gedrehten und plötzlich angehaltenen Tisches oder durch irgendein anderes Mittel eine Achsendrehung erteilen könnte, es doch nie die leiseste

Anstrengung machen würde, sich auf die Spitze zu stellen und um seine längere Achse zu drehen.

Ich hoffe, Sie sind nicht der Meinung, ich hätte schon genug über astronomische Dinge gesprochen, denn es gibt noch eine wichtige Sache, welche mit der Astronomie verknüpft ist, und die ich besprechen muß. Sie wissen, daß ich praktisch gar nichts mit der Astronomie zu tun hatte, und doch hege ich ein starkes Interesse für diesen Gegenstand. Es ist sehr merkwürdig, aber auch sehr wahr, daß Leute, die praktisch in irgendeiner Richtung tätig sind, selten den Reiz derselben gewahr werden. Diesen sieht nur der phantasievolle Laie. Der überarbeitete Astronom hat einen anderen Gesichtspunkt. Sobald irgendeine Tätigkeit zur Pflicht wird und einen Teil des Tagewerkes bildet, so verliert sie gewöhnlich einen großen Teil des Reizes. Sie werden finden, wenn in irgendeinem Zweige des Ingenieurwesens eine Erfindung gemacht wird, dies fast immer von einem außerhalb dieses Berufes stehenden geschieht, von jemandem, der mit frischem Geiste an das Studium des Gegenstandes geht. Wer hat je gehört, daß ein langjähriger Einwohner von Japan oder Peru ein interessantes Buch über diese Länder geschrieben hat? Jemand, der zwei Jahre dort gewohnt hat, sieht bei einem Spaziergange nur mehr die allerbekanntesten

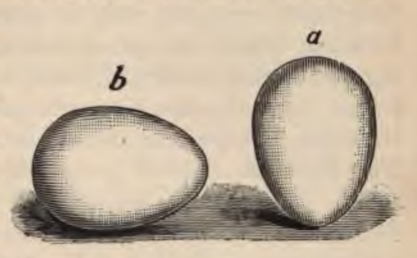


Abb. 45.

Dinge und er fühlt eine ungemischte Verachtung gegen den geistreichen Weltenbummler, der nach einer einmonatigen Reise durch die breitgetretensten Wege des Landes ein Buch über dasselbe schreibt. Der gewiegte Astronom hat aber heute die Schwierigkeiten seiner Vorgänger vergessen, und er mißtraut dem Laien. Es ist schon lange her, seit er den heiligen Schauer fühlte, der uns Laien umfängt, wenn wir den Sternenhimmel betrachten und den Umfang und die Entfernung der einzelnen Glieder der himmlischen Heerschar erfahren. Der Astronom spricht ganz kühl von Millionen von Jahren und ist, wenn er über die älteste Geschichte der Menschheit berichtet, beinahe ebenso gleichgültig wie ein wetterharter Geologe. Der Grund hierfür ist augenfällig. Viele von Ihnen wissen wohl, daß der Nautical Almanac als literarisches Produkt eines der uninteressantesten Nachschlagewerke ist, welches besteht. Es ist unzusammenhängender als ein Wörterbuch, und ich glaube, daß die Aufstellung von Steuer- oder Wählerlisten eine weitaus reizvollere Beschäftigung sein muß als die Herstellung der Tafeln des Nautical Almanac. Und doch kann eine einzige Ziffer von den Millionen, die der überarbeitete Rechner niederschreibt, ein tragisches Verhängnis in bezug auf Leben und Tod sowohl der Bemannung als auch der Fahrgäste eines Schiffes verschulden, wenn es auf Grund der Angabe eines einzigen gedruckten Buchstabens Schutz in einem Hafen sucht oder die verderbendrohenden Klippen vermeiden will.

Vielleicht ist diese Ansicht übertrieben. Ich befasse mich jedoch so selten mit astronomischen Dingen und

kenne so wenig das Ach und Weh und die Eintönigkeit des Alltagslebens des Astronomen, daß ich nicht einmal weiß, ob die oben angegebenen Tatsachen gerade für die Astronomen Gültigkeit haben. Ich weiß nur, daß sie sehr nahe wahr sein müssen, da sie bei anderen Berufszweigen zutreffen.

Ich kann mit Befriedigung sagen, daß ich mit allen Arten von Leuten und allen Berufsklassen in Berührung komme, unter anderen auch mit einigen Leuten, welche eine Menge Dinge leugnen, die in unseren frühesten Schulbüchern gelehrt werden, z. B. daß die Erde rund ist oder daß sie sich dreht, oder daß der Franzose eine Sprache spricht, die von unserer verschieden ist. Aber kein Mensch, der auf der See war, wird leugnen, daß die Erde rund sei, wie sehr er sich darüber auch verwundern mag; und niemand, der in Frankreich war, wird verneinen, daß die französische Sprache von der unsrigen verschieden sei; aber viele Leute, die zur Zeit ihres Schulbesuches von der Drehung der Erde gelernt haben und reichliche Gelegenheit hatten, die Himmelskörper zu beobachten, verneinen trotzdem die Umdrehung der Erde. Sie sagen Ihnen dagegen, daß Mond und Sterne sich um die Erde drehen, denn sie sähen dieselben Nacht für Nacht ihre Kreise beschreiben; sie sagen, daß sich die Sonne um die Erde drehe, denn sie sähen dies jeden Tag. Und wenn man darüber nachdenkt, so ist es tatsächlich nicht so leicht, die Achsendrehung der Erde nachzuweisen. Mit Hilfe guter Teleskope und des elektrischen Telegraphen oder guter Chronometer ist wegen des Mangels einer Parallaxe leicht zu zeigen, daß diese Sterne sehr weit entfernt sein müssen; aber aus

alledem erkennen wir nur, daß sich entweder die Erde dreht oder der Himmel.*) Allerdings scheint es unendlich viel wahrscheinlicher, daß die kleine Erde sich drehe, als daß das ganze Sternenzelt sich um die Erde als Mittelpunkt drehen sollte, und unendliche Wahrscheinlichkeit ist nahezu vollkommene Sicherheit. Aber es gibt wohl niemanden, dem nicht ein unabhängiger Beweis willkommen wäre. Die Erscheinung der Gezeiten und nahezu jede astronomische Entdeckung können als ein Beitrag zu dem Beweise betrachtet werden. Doch der Mangel vollkommener Sicherheit besteht noch immer, und wenn man uns sagt, daß die Erscheinung des sich drehenden Kreisels uns einen wirklichen Beweis der Drehung der Erde liefert, ohne daß wir das Zimmer zu verlassen brauchen, so werden wir dies sicherlich begrüßen, wenn wir vielleicht auch über den Beweis, sobald wir ihn eingesehen haben, als einen ganz überflüssigen lächeln.

Sie wissen, daß ein Gyrostat, der mit vollständiger Bewegungsfreiheit um alle Achsen, die durch seinen Schwerpunkt gehen, aufgehängt ist, eine bleibende Richtung im Raume einnimmt, wie immer die Unterstützung auch gewendet und verschoben werden mag. Seine

---

*) Es ist eine sehr unwahrscheinliche und ziemlich widersinnig klingende Hypothese, daß die Sterne nur durch Reflexion an den Grenzen des Äthers hervorgerufene Spiegelbilder unserer eigenen Sonne seien, aber es scheint, daß ihr weder durch eine Tatsache der Spektralanalyse noch durch irgendeine wahrscheinliche Theorie von der Zusammensetzung des den Weltenraum erfüllenden Äthers widersprochen wird. (Hier sind stets die Fixsterne gemeint. Anmerkung des Übersetzers.)

Achse kann nicht gezwungen werden, ihre Richtung in irgendeiner Weise zu ändern. Dieser Gyrostat (Abb. 17) ist nun nicht vollständig frei von jeder Reibung der Achsen, von der ich sprach, und selbst die geringste Reibung wird irgendeinen Zwang hervorrufen, der den Versuch, den ich beschreiben will, ungünstig beeinflußt. Wir müssen uns aber erinnern, daß, wenn gar kein Zwang vorhanden wäre, die Achse des Gyrostaten selbst dann, wenn er sich gar nicht drehen würde, eine bleibende Richtung im Raume beibehalten würde. Der sich drehende Gyrostat bekundet jedoch dadurch eine Überlegenheit, daß ein durch die Reibung hervorgerufener Zwang weniger wirksam die Lage der Achse desselben beeinflußt. Je rascher die Drehung vor sich geht, um so mehr können wir von der Reibung abhängige Einflüsse vernachlässigen. Sie haben selbst die Wirkung gesehen, welche das Herumführen des Gyrostaten in jeder möglichen Weise hervorbringt — erstens nämlich verursacht die Reibung, wenn sich der Gyrostat nicht dreht, eine sehr große Ablenkung der Achsenrichtung; wenn er sich dagegen dreht, so sehen Sie zweitens, obgleich dieselbe Reibung wie früher vorhanden ist, daß bei dem Versuche, das Instrument heftiger zu stören



Abb. 17.

als früher, die Achse doch die ganze Zeit merkbar sich selbst parallel bleibt. Wird dieses Instrument nun auf den Tisch gestellt, so wird es tatsächlich von der Erde bei ihrer täglichen Bewegung mitgenommen und einmal um die Achse der Erde gedreht. Würde die Achse des Instrumentes ihre Richtung vollständig beibehalten und würde dieselbe jetzt genau horizontal nach Osten zeigen, so würde sie 6 Stunden später nach Norden weisen und nach abwärts geneigt sein, in weiteren 6 Stunden würde sie genau nach Westen gerichtet sein und in horizontaler Lage sich befinden und nach einer ganzen Umdrehung der Erde würde sie nach demselben Punkt wie jetzt zeigen.

Stellen Sie sich nun vor, ich versuche das Experiment und sehe, daß die Achse des Instrumentes in diesem Zimmer jetzt genau nach Osten zeigt, während sie nach einer Weile genau nach Westen gerichtet ist, so ist es, da ich weiß, daß der Gyrostat die ganze Zeit im Raume dieselbe Richtung behält, sicher einleuchtend, daß das Zimmer im Raume sich gedreht haben muß. Nehmen Sie ferner an, die Achse sei jetzt nach dem Polarstern gerichtet, so wird sie in 6, 12, 18 oder 24 Stunden noch immer nach dem Polarstern zeigen.

Nun ist es aber nicht leicht, sich einen derartig reibungslosen Gyrostaten zu verschaffen, daß er eine rasche Drehung so lange Zeit beibehält, als nötig ist, die Drehung des Zimmers einer Versammlung sichtbar zu machen. Ich will Ihnen dagegen beschreiben, wie vor 40 Jahren in einem Laboratorium bewiesen wurde, daß sich die Erde um ihre Achse drehe. Der Versuch ist mit dem Namen Foucault verknüpft, desselben Natur-

forschers, der mit Fizeau zeigte, wie man in einem Laboratorium die Geschwindigkeit des Lichtes messen könne und daher auch die Entfernung der Sonne. Der Versuch war bereits 1836 von Herrn Lang in Edinburgh angedeutet, wurde aber erst durch Foucault 1852 ausgeführt. Durch diesen Versuch könnten Sie, wenn Sie sich auf einem Körper befänden, von dem Sie keine Sterne oder andere auswärtige Gegenstände zu sehen imstande wären — sagen wir, sie würden in unterirdischen Regionen leben — erstens entdecken, ob es eine drehende Bewegung gibt, und wenn dies der Fall ist, die Größe derselben; zweitens den Meridian oder die wahre Nordrichtung; und drittens die geographische Breite. Nehmen Sie einen Gyrostaten wie diesen (Ab. 46), aber viel größer und weitaus reibungsloser aufgehängt, so daß er sich frei in horizontaler und vertikaler Richtung bewegen kann. Für die vertikale Bewegung müßten die Zapfen der Ringe Messerschneiden aus hartem Stahle sein. Für die horizontale Bewegung benutzte Foucault einen feinen Stahldraht. Ferner sei auf dem äußeren Ringe eine feine Skala kreuzweise eingeschnitten. Und nun versuchen Sie mit Hilfe eines mit einem Fadenkreuze versehenen Mikroskopes zu entdecken, ob sich der Gyrostat horizontal bewegt. Führt man dies sorgfältig aus, so findet man, daß eine Bewegung vorhanden ist, doch ist sie nicht die Bewegung des Gyrostaten, sondern die Bewegung des Mikroskopes. In Wirklichkeit bewegt sich das Mikroskop wie alle anderen in dem Zimmer befindlichen Gegenstände rund um den Rahmen des Gyrostaten.

Lassen Sie uns nun zusehen, was geschehen wird.

Das Zimmer dreht sich um die Erdachse, und wir kennen die Geschwindigkeit der Drehung; für unsere jetzigen Zwecke brauchen wir nur zu wissen, wieviel von der



Abb. 46.

gesamten Drehung auf die Vertikale des Zimmers entfällt. Befände sich das Zimmer am Nordpol, so würde sich die ganze Drehung um die Vertikale vollziehen. Läge das Zimmer aber am Äquator, so würde es

gar keine Drehung um eine Vertikale vollführen. In unserer Breite aber beträgt die horizontale Umdrehungsgeschwindigkeit um eine vertikale Achse nur vier Fünftel der ganzen Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde um ihre Achse, und diese Größe können wir mit unserm Mikroskope messen. Dieser Versuch würde daher an einem Orte am Äquator kein Resultat ergeben, in unserer Breite dagegen können wir einen im Laboratorium gewonnenen Beweis für die Umdrehung der Erde erzielen. Foucault führte derartige Messungen mit großer Genauigkeit durch.

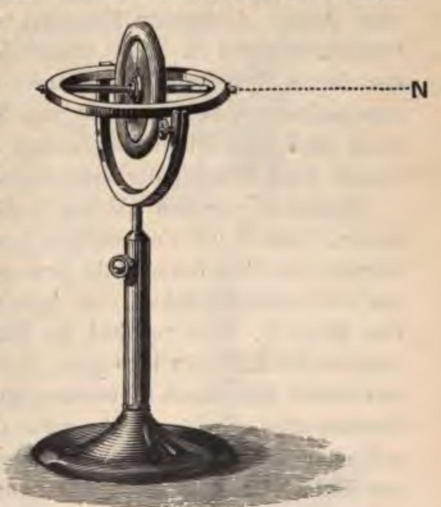


Abb. 47.

Wenn man nun den Rahmen so festklemmt, daß außer in einer horizontalen Ebene keine Bewegung stattfinden kann, so kann die Bewegung, welche die Erde dem Gyrostaten um eine vertikale Achse zu erteilen sucht, nicht zum Ausdruck gelangen, aber die Erde zwingt ihn, sich um eine Achse zu drehen, welche von Nord nach Süd gerichtet ist, und infolgedessen sucht die Drehungsachse sich parallel zur Süd-Nordrichtung zu stellen (Abb. 47). Daher ist es leicht, mittels eines derartigen

Instrumentes die wahre Nordrichtung zu finden. Wäre gar keine Reibung vorhanden, so würde das Instrument um die wahre Nordrichtung schwingen, wie die Nadel eines Kompasses, jedoch mit einer weitaus längeren Schwingungsdauer.

Man nimmt mit merkwürdig gemischten Gefühlen zum ersten Male die Tatsache wahr, daß alle sich um eine Achse drehenden Körper, wie Schwungräder von Dampfmaschinen u. dgl., während der ganzen Zeit, in der sie in Bewegung sind, immer das Bestreben haben, sich gegen den Polarstern zu wenden, beständig nutzlos, wenn auch von ihrem Fundament ab- und dem Gegenstande ihrer Hinneigung zustrebend.

Nachdem wir nun (Abb. 47) den Meridian gefunden haben, können wir den dritten Versuch beginnen. Verhindern wir eine horizontale Bewegung, d. i. eine solche um eine vertikale Achse, aber lassen wir dem Instrumente die Freiheit, sich vertikal im Meridian und um eine horizontale Achse zu bewegen, gleich einem Durchgangsinstrument auf einem Observatorium. Die Bewegung des Instrumentes mit der Erde wird die schiefe Lage desselben zu ändern streben, und daher stellt es sich parallel zur Erdachse; verursacht nun die tägliche Umdrehung keine weitere Änderung der Richtung des Instrumentes im Raume, so zeigt es beständig nach dem Polarstern (Abb. 48). Es wäre ein sehr interessanter Versuch, mit einer feinen chemischen Wage die Kraft zu messen, mit der sich die Achse erhebt, und auf diesem Wege die Umdrehung der Erde gewissermaßen zu wägen.*)

Drehen wir nun den Fuß des Instrumentes GB um einen

*) Sir William Thomson hat dies ausgeführt.

rechten Winkel, so daß sich die Drehachse nur in einer Ebene, die einen rechten Winkel mit dem Meridian einschließt, bewegen kann, so wird es augenscheinlich nur von den vertikalen Komponenten der Drehbewegung der Erde beeinflußt und zeigt vertikal nach abwärts.



Abb. 48.

Die letzte, sowie die vorhergehende Erscheinung, von der ich gesprochen habe, ist sehr bedeutungsvoll. Ich habe hier eine Magnetnadel (Abb. 49), die wegen der Art der Aufhängung eine Inklinationsnadel genannt wird. Wende ich nun das Gestell so, daß die Nadel nur rechtwinkelig zum Meridian sich bewegen kann, so sehen Sie, daß sie sich vertikal einstellt. Es empfiehlt sich, über die ähnlichen Eigenschaften der Magnetnadel (Abb. 50) und des Gyrostaten (Abb. 47) nachzudenken; beide zeigen nach Norden, sobald ihnen nur eine horizontale Bewegung erlaubt wird, und Sie sehen, daß ein sehr reibungsloser Gyrostat als Kompaß benutzt werden könnte oder für alle Fälle als ein Korrektionsmittel für einen Kompaß.*)

*) Ich muß bemerken, daß ich in dem einen Falle von der wahren Nordrichtung, in dem anderen von der magnetischen Nordrichtung spreche.

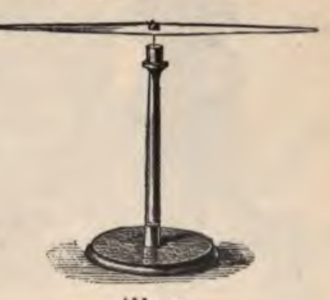
Ich habe Sie soeben auf Analogien aufmerksam gemacht, und es ist notwendig, zu betonen, daß diese, obwohl nur Analogien, doch keine zufälligen Analogien sind, denn unzweifelhaft besteht ein dynamischer Zusammenhang zwischen dem Magnetismus und den Erscheinungen des Gyrostaten. Der Magnetismus beruht auf Drehbewegungen. Die Moleküle der Materie befinden sich aber wirklich in einer Drehung, und eine gewisse Übereinstimmung der Richtung der Drehachsen ruft das, was wir Magnetismus nennen, hervor. In einem nicht magnetisierten Stahlbarren nehmen alle die kleinen Achsen verschiedene Richtungen ein. Der Vorgang der Magnetisierung besteht nun einfach darin, es dahin zu bringen, daß alle diese Drehungen mehr oder weniger um parallele Achsen stattfinden, er besteht in einer Gleichrichtung der Achsen. Eine honigwabenförmige Masse, mit sich drehenden Gyrostaten in jeder Zelle, mit lauter parallelen Achsen und Drehungen von gleichem Sinne würde — ich war im Begriffe zu sagen ein Magnet sein — aber sie würde kein Magnet mit all seinen Eigenschaften, doch in vielfacher Weise einem Magneten ähnlich sein.*)



Abb. 49.

*) Würde man eine große Masse von Eisen rasch in der einen und dann in der anderen Richtung in der Nähe einer sehr sorgfältig aufgehängten Magnetnadel, die gut gegen Luftströmungen geschützt ist, rotieren lassen, so glaube ich, daß sich Erscheinungen

Einige von Ihnen, welche nächst dem Tische Elektromotoren und andere elektrische Einrichtungen sehen, werden denken, daß dieselben etwas mit der Theorie für die Erklärung der magnetischen Erscheinungen zu tun haben. Aber ich muß gestehen, daß ich den Elektromotor, den ich in der Hand halte (Abb. 51), lediglich als das passendste Mittel benutze, welches ich finden konnte, um meine Kreisel und Gyrostaten in Drehung zu versetzen. Auf der Spindel des Motors ist ein rundes Stück Holz befestigt; durch Umstellen dieses Einschalters kann ich den Motor mit elektrischer Energie laden, und die hölzerne Scheibe dreht sich nun sehr rasch. Ich brauche nur einen dieser Kreisel oder Gyrostaten mit ihrem Rande zu berühren, um sie in Drehung zu versetzen. Sie sehen, daß ich in wenigen Sekunden ein halbes Dutzend Kreisel und Gyrostaten, z. B. diese Kette von Gyrostaten, zum Drehen bringen kann. Dieser größere Motor (Abb. 52), der zu schwer ist, um ihn mit meinen Händen zu bewegen, ist dagegen


Abb. 50.

---

zeigen würden, die von größtem Interesse für die Theorie des Magnetismus wären. Es ist mir bisher nicht gelungen, bei diesen Versuchen irgendeine Spur von magnetischer Wirkung hervorzubringen, doch schreibe ich diesen Mißerfolg der verhältnismäßig langsamen Drehungsgeschwindigkeit, die ich anwandte, sowie dem Mangel an Empfindlichkeit meines Magnetometers zu.

an dem Tische befestigt; ihn verwende ich, um meine schwereren Instrumente anzutreiben. Sie begreifen jetzt wohl, daß ich diese Apparate nur benutzte, wie etwa ein Barbier sie benutzen würde, um Ihre Haare damit zu bürsten, oder die Sarah, Jane, um die Messer damit zu putzen, oder geradeso, wie ich mich etwa einer kleinen Dampfmaschine hätte bedienen können, wenn sie meinen Zwecken besser entsprochen hätte. Es war jedoch einfacher für mich, diese Akkumulatorenbatterie und diese Motoren von London mitzubringen, als Säcke mit Kohlen, Kessel und Dampfmaschinen. Aber es liegt noch ein tieferer Sinn darin, den wir der Sache beilegen können, wenn wir wollen. Die Liebe ist so alt wie die Berge, und alltäglich werden Liebesbotschaften durch den jüngsten der dienenden Sklaven, der Menschheit, den Telegraphen, weithin getragen. Diese Drehkreisel waren vielleicht den Urmenschen bekannt, und doch haben wir von diesen nur ein kleines Bruchstück der Weisheit gelernt, die die Kreisel fortwährend einer stumpfsinnigen Welt darbieten. Spielzeuge wie diese ließen vielleicht die ersten Pyramidenerbauer, als sie Knaben waren, tanzen, und hier sehen Sie dieselben in unmittelbarer Nachbarschaft mit den allerletzten Erkenntnissen der Menschheit. Ich fühle beinahe, was Stanley gefühlt haben muß, als er mit Hilfe



Abb. 51.

des elektrischen Lichtes und einer Laterna magica der ständigen Salongesellschaft Londons seine Erlebnisse in den fürchterlichen afrikanischen Urwäldern vorführte.

Die Erscheinung, welche ich Ihnen beschrieben habe, spielt in der Natur eine so wichtige Rolle, daß ich, wenn es die Zeit zuließe, im Untersuchen und Erklären fortfahren könnte, ohne einen besonderen Grund zu finden,

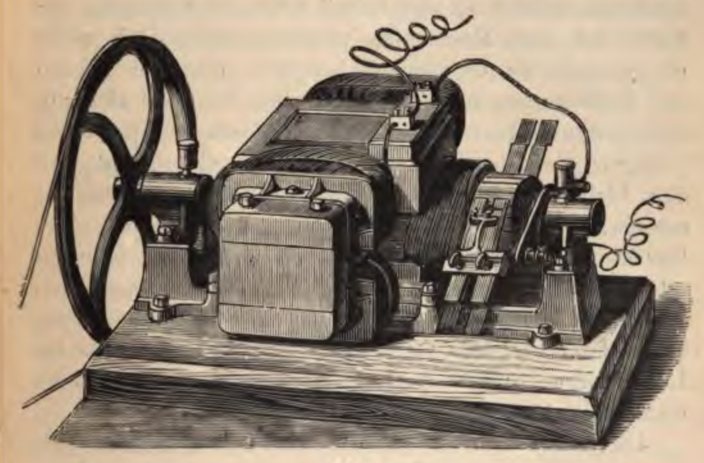


Abb. 52.

an dieser oder jener Stelle früher aufzuhören. Die für meine Ausführungen bemessene Zeit gestattet mir aber nur noch e i n e n anderen Gegenstand zu berühren, nämlich den Zusammenhang zwischen Licht und Magnetismus mit dem Verhalten der Drehkreisel.

Sie wissen alle, daß der Schall Zeit zur Fortpflanzung braucht. Es ist dies ein Ergebnis der gewöhnlichen

Beobachtung, denn man sieht einen fernen Holzhauer seine Axt schon ein zweites Mal erheben, bevor man noch den Schall des ersten Schlages vernommen hat. Eine verheerende Meereswelle trifft die Küste von Japan viele Stunden später, als das Erdbeben die fernen Küsten Amerikas erschütterte, da die Welle Zeit zur Reise über den stillen Ozean brauchte. Wenn auch das Licht sich rascher fortpflanzt als der Schall oder die Bewegung der Welle auf dem Meere, so pflanzt es sich doch nicht mit unendlicher Geschwindigkeit fort, und der Beginn der Verfinsterung eines Jupitermondes verzögert sich um eine wahrnehmbare Anzahl von Minuten, da das Licht Zeit zur Fortpflanzung benötigt. Die Geschwindigkeit des Lichtes wurde mittels solcher Beobachtungen gemessen, und wir wissen, daß sich das Licht mit einer Geschwindigkeit von etwa 187000 Meilen in der Sekunde oder 30000 Millionen Zentimeter per Sekunde fortpflanzt. Es besteht kein Zweifel, daß diese Zahlen nahezu richtig sind, denn die Geschwindigkeit des Lichtes wurde im Laboratorium durch Anwendung einer vollständig einwandfreien Methode gemessen.

Die interessanteste physikalische Errungenschaft seit Newtons Zeit ist die Ausführung der Versuche Faradays und die theoretische Verwertung derselben durch Thomson und Maxwell. Diese Theorie besteht darin, daß das Licht und die strahlende Wärme aus einfachen, sich durch den Raum fortpflanzenden elektromagnetischen Störungen bestehen. Ich wage es bloß, auf diesen Gegenstand hinzuweisen, obgleich er von höchster Wichtigkeit ist, und kann nur sagen, daß von all den bei den Untersuchungen über das Licht, die Elektrizität und den Mag-

netismus beobachteten Erscheinungen keine sich im Gegensatze zu Maxwells Theorie befindet, daß wir dagegen viele kennen, welche diese Theorie unterstützen. Die bedeutendste und erste Unterstützung, welche sie fand, war die folgende. Wenn die Theorie richtig ist, so müssen gewisse elektromagnetische Messungen eine Größe geben, die mit der Geschwindigkeit des Lichtes genau übereinstimmt. Ich muß nun beiläufig bemerken, daß elektrische Messungen Mengen betreffen, die gar nichts mit dem Lichte zu tun zu haben scheinen, außer daß man seine Augen benutzen muß, um die Messungen auszuführen; man bedarf hierzu eines 65 cm langen Lineales, einer Magnetnadel, Drahtspulen und elektrischer Ströme. Es könnte scheinen, daß hierbei eine Verwandtschaft mit der Geschwindigkeit des Lichtes bestehe, welche nicht unähnlich dem fabelhaften Zusammenhange zwischen Tenderden Steeple und Goodwin Sands ist. Diese Messung genau durchzuführen, ist sehr schwer. Eine Anzahl geschickter Experimentatoren, die vollständig unabhängig arbeiteten und ganz verschiedene Methoden anwendeten, gelangten jedoch zu Resultaten, von denen nur eines um 5 % von der beobachteten Geschwindigkeit des Lichtes verschieden war, während einige von ihnen, in welche das beste Vertrauen gesetzt werden kann, genau mit dem mittleren Wert der Geschwindigkeit des Lichtes übereinstimmen.

Es besteht somit eine wunderbare Übereinstimmung zwischen den beiden Messungen, aber ohne eine eingehendere Erläuterung, als die, welche ich Ihnen jetzt geben kann, dürften Sie die Wichtigkeit dieser Übereinstimmung zwischen zwei scheinbar unzusammenhängenden

Größen nicht verstehen. Für alle Fälle wissen wir durch die Arbeiten von Professor Hertz, daß Maxwells Theorie richtig ist und daß das Licht nichts als eine elektromagnetische Störung ist; und noch mehr, wir wissen, daß elektromagnetische Störungen, die aber unverhältnismäßig langsamer als rotes Licht und Wärme sich fortpflanzen, jetzt durch unsere Körper ziehen; daß diese jüngst erkannte Art von Strahlung reflektiert und gebrochen werden kann, sowie durch Ziegel und Steinmauern und neblige Luft dringt, durch welche das Licht sich nicht fortpflanzen kann, und daß möglicherweise alle militärischen, alle Schiffs- und Leuchtturmsignale in Zukunft durch Vermittelung dieser wundervollen Art von Strahlung bewirkt werden können, von der, wie wir uns auszudrücken pflegen, das Licht nur eine besondere Form bildet. In dieser Weise könnten sich jetzt etwa zwei Einwohner von Leeds durch eine eine halbe Meile lange Häusermasse hindurch, die auch diese Halle einschließt, in der wir versammelt sind, mittels Zeichen verständigen.

Ich erwähne diese größte moderne physikalische Entdeckung, weil der Keim zu derselben von Thomson bereits 1856 veröffentlicht wurde und sie in unmittelbarer Beziehung zu der Ähnlichkeit des Verhaltens unserer Drehkreisel mit den magnetischen und elektrischen Erscheinungen steht. Es wird jedoch leichter für uns sein, eine mechanische Darstellung der Drehung der Polarisationsebene des Lichtes durch den Magnetismus vorzuführen, welche Thomson 1874 angab. Diese Erscheinung muß nach meinem Dafürhalten als die bedeutendste von allen Entdeckungen Faradays angesehen werden. Sie

war von größter Wichtigkeit für die Wissenschaft, denn sie erfolgte in einer Richtung, in der das Auftauchen einer neuartigen Erscheinung nicht vermutet wurde. Von seiner Entdeckung der induzierten elektrischen Ströme, der alle Gesellschaften für elektrische Beleuchtung und Kraftübertragung ihr Bestehen verdanken, sagt Faraday selbst, daß sie die natürliche Folge der Entdeckungen eines früheren Experimentators, nämlich Örsteds, war. Aber diese optisch-magnetische Entdeckung geschah ganz unvermutet. Ich will die Erscheinung nun beschreiben.

Einigen von Ihnen dürfte bekannt sein, daß, wenn ein Lichtstrahl durch diesen Apparat, ein Nicholsches Prisma genannt, gesendet wird, er polarisiert, d. i. einseitig gemacht wird. Oder mit anderen Worten, alles Licht, welches durch das Prisma dringt, wird durch Schwingungen fortgepflanzt, welche in einer einzigen Ebene vor sich gehen. Dieses Seil (Abb. 53), welches von der Decke herabhängt, gibt ein Bild des eben polarisierten Lichtes, da alle Punkte des Seiles in derselben Ebene schwingen. Das Prisma *A* (Abb. 54) läßt nur Licht durch, welches in einer vertikalen Ebene polarisiert ist. Bei *B* habe ich nun eine zweite ähnliche Vorrichtung, die ich so stelle, daß sie ebenfalls nur solchem Lichte den Durchgang gestattet, welches in einer vertikalen Ebene polarisiert ist. Es wird daher das meiste Licht, welches durch den Polarisator, wie das erste Prisma genannt wird, kommt, auch ohne Anstand durch den Analysator, wie das zweite Prisma heißt, durchgehen, und ich lasse nun dieses Licht in mein Auge eintreten. Sobald ich aber den Analysator um einen rechten Winkel

drehe, so sehe ich kein Licht mehr; schon während
den Analysator drehte, begann es allmählich du
zu werden. Der Analysator gestattet
nur jenem Lichte den Durchgang, wel
in einer horizontalen Ebene polarisiert
und ein solches Licht empfängt er nicht



Abb. 53.

Dieses Modell (Abb. 55) gibt eine
Illustration des polarisierten Lichtes.
weißer, besonders stark leuchtender Fa
MN wird durch ein jenseits der Rolle *M*
gebrachtes Gewicht gespannt, und
Ende *N* ist an dem einen Ast einer Sti
gabel befestigt. Einige faserig aussehe
Fadenstücke, die rund an dem Teile
angehängt sind, verhindern dessen Sch
gungen in irgendeiner bestimmten Richt
von *A* bis *M* ist dagegen der Faden c
jede hemmende Belastung. Ein senkrec
Schlitz bei *A*, durch den der Faden g
bestimmt die Art der Schwingung von
jeder Teil des Fadens von *A* bis *B* k
nur auf- und abwärts schwingen. Ein v
kaler Schlitz in *B* gestattet weiter, daß
die vertikalen Schwingungen durch densel

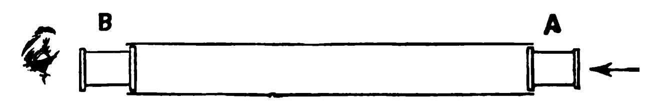


Abb. 54.

rtpflanzen und daher sehen wir, daß der Teil *BM*
erselben Weise schwingt wie *AB*. Ich könnte

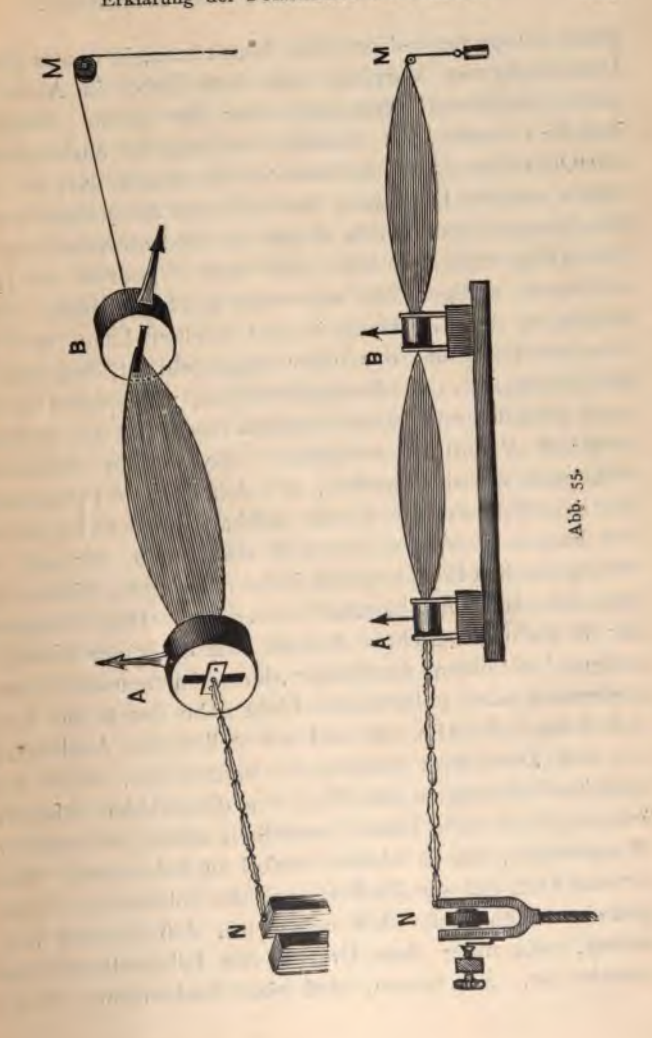


Abb. 55.

ganze Menge besonderer Fälle bezeichnen, in denen diese Darstellung die Vorgänge mit dem Lichte in Abb. 54 nicht annähernd erschöpft; aber für meine jetzigen Zwecke werde ich hiermit hinlänglich auskommen. *A* stellt einen Polarisator der Schwingungen dar, es gestattet nur den Durchgang von auf- und abwärtsgehenden Bewegungen, ebenso läßt *B* nur auf- und abwärtsgehende Bewegungen durch. Wird aber nun *B* gedreht, so läßt es immer weniger die auf- und abwärtsgehenden Bewegungen durch, bis es in der zweiten Lage, die in dem unteren Teile der Figur dargestellt ist, angelangt, gar keiner Auf- und Abwärtsbewegung mehr den Durchgang gestattet und keine sichtbare Bewegung des Fadens zwischen *B* und *M* stattfindet. Sie werden einsehen, daß, wenn wir nicht wüßten, in welcher Ebene (im gegenwärtigen Falle ist die Ebene vertikal) die Schwingungen des Fadens zwischen *A* und *B* stattfänden, wir nur *B* herumzudrehen brauchten, bis keine Schwingung hindurchgeht, um Aufschluß hierüber zu erhalten. Daher können wir im Falle des Lichtes *A* einen Polarisator der Schwingungen, *B* einen Analysator derselben nennen. Angenommen nun, polarisiertes Licht gehe durch die Luft von *A* nach *B* (Abb. 54) und wir stellen den Analysator so, daß Dunkelheit eintritt, so werden wir, wenn wir eine Zuckerlösung in den Weg, den die Strahlen nehmen, bringen, in *B* nicht länger Dunkelheit haben; wir müssen *B* umdrehen, um es wieder dunkel zu bekommen; dies beweist klar, daß die Zuckerlösung die Polarisationsebene gedreht haben muß. Ich nehme an, daß Sie nun verstehen, was unter dem Drehen der Polarisationsebene gemeint ist. Sie wissen, daß eine Zuckerlösung diese

Drehung hervorbringt, und daß die Drehung um so größer wird, je länger der Weg ist, den die Strahlen durch den Zucker nehmen. Von dieser Erscheinung wird in den Zuckerfabriken mit Vorteil Gebrauch gemacht, um die Stärke der Zuckerlösung zu messen. Die Darstellung mit dem Faden verdanke ich Professor Silvanus Thomson, ebenso ist der nächste Apparat, den ich zeigen werde, von ihm ersonnen.

Ich habe hier (siehe Titelbild) eine kräftige Armatur oder einen Elektromagneten. In der Mitte desselben befindet sich ein Loch, durch welches der Lichtstrahl einer elektrischen Lampe durchgehen kann, und ich habe ein Stück von Faradays schwerem Glas, welches nahezu das ganze Loch ausfüllt. An einem Ende befindet sich ein Polarisator, am anderen ein Analysator. Sie sehen, daß jetzt das polarisierte Licht durch das schwere Glas und den Analysator in das Auge des Beobachters gelangt. Nun drehe ich *B*, bis das Licht nicht mehr durchgeht. Bis jetzt gab es im Apparate keinen Magnetismus, aber ich besitze die Mittel, um ein sehr intensives magnetisches Feld in der Richtung, in welcher die Strahlen gehen, hervorzurufen, und wenn Sie Ihr Auge hier hätten, würden Sie wahrnehmen, daß nun Licht durch den Analysator geht. Der Magnetismus hat daher dem Lichte etwas angetan, er hat es fähig gemacht, dort durchzudringen, wo es früher nicht durchdringen konnte. Drehe ich jetzt den Analysator ein wenig, so halte ich das Licht wieder auf, und nun weiß ich, daß der Magnetismus das Glas des Prismas in ein ähnliches Medium verwandelte, wie der Zucker eines ist, in ein Medium, welches die Polarisationsebene des Lichtes dreht.

Bei diesem Experiment mußten Sie meiner persönlichen Messung der wirklich hervorgebrachten Drehung Glauben schenken. Wenn ich aber zwischen Polarisator und Analysator diese von Professor Silvanus Thomson herrührende Scheibe einschalte, welche aus 24 radialen Stücken von Glimmer zusammengesetzt ist, so werde ich ein Mittel haben, um der ganzen Versammlung die wirkliche Drehung der Polarisationsebene des Lichtes zur Anschauung zu bringen. Sie sehen auf dem Schirm das Licht, welches durch den Analysator in Form eines Kreuzes ging. Dreht sich nun das Kreuz, so ist dies ein Zeichen der Drehung der Polarisationsebene des Lichtes. Vermittelst dieses elektrischen Umschalters vermag ich das magnetische Feld im Glase hervorzurufen, zu zerstören oder umzudrehen. Sobald ich Magnetismus erzeuge, sehen Sie, daß das Kreuz sich dreht; hebe ich den Magnetismus auf, so kehrt es in seine alte Lage zurück; nun erzeuge ich die entgegengesetzte Art von Magnetismus, und Sie sehen, das Kreuz dreht sich im entgegengesetzten Sinne. Ich hoffe, Sie sehen nun ein, daß der Magnetismus die Polarisationsebene des Lichtes ebenso dreht wie die Zuckerlösung.

Als Illustration dessen, was zwischen dem Polarisator und dem Analysator vorgeht, betrachten Sie dieses Seil (Abb. 53), welches an der Decke befestigt ist. Bewege ich das untere Ende heftig von Ost nach West, so sehen Sie, daß jeder Teil des Seiles sich von Ost nach West bewegt. Können Sie sich nun ein Seil vorstellen, bei dem, wenn das untere Ende von Ost nach West bewegt wird, ein Punkt, der sich um einige Meter höher befindet, von Ost-Nord-Ost nach West-Süd-West sich bewege,

und weiter ein noch höherer von Nordosten nach Südwesten usw., so daß sich die Richtungen in immer höheren Lagen nach und nach ändern? Einige unter Ihnen werden sich das wohl vorstellen können. Wir würden haben, was wir brauchen, wenn dieses Seil eine Kette von Gyrostaten wäre, sowie Sie dieselbe in der Abb. 56 dargestellt sehen; Gyrostaten, die von oben betrachtet sich alle in demselben Sinne drehen, mit reibungslosen Gelenken zwischen denselben. Diese Kette ist eine der vielen, welche ich seit einigen Jahren zu diesem Zwecke benutze. Und wenn ich mir auch oft einbildete, ich hätte die Erscheinung in einer solchen Kette auftreten gesehen, so muß ich doch leider meine wiederholten Mißerfolge gestehen. Die Schwierigkeiten, denen ich begegnete, sind beinahe alle mechanischer Natur. Sie sehen, daß, wenn ich alle die Gyrostaten nach und nach mit dieser sich rasch bewegenden, durch den kleinen Elektromotor angetriebenen Scheibe berühre, ich sie alle in derselben Zeit zum Drehen bringen kann; aber Sie werden sofort bemerken, daß infolge des schlechten Mechanismus, der schlechten Berechnung meinerseits und des Mangels an Geschicklichkeit, die Erscheinung vollständig verdeckt wird durch wilde Bewegungen der Gyrostaten, deren Ursachen besser bekannt sind, als man imstande ist, sie zu vermeiden. Das Prinzip des Vorganges ist jedoch deutlich sichtbar an diesem Gyrostaten, der an Stelle der Linse an einem Pendel aufgehängt ist (Abb. 57). Sie mögen sich vorstellen, daß dies ein Teilchen der Substanz darstellt, welche das Licht in dem magnetischen Feld verändert, dann sehen Sie durch die Spuren des


Abb 56.

ausfließenden dünnen Stromes von Sand, welcher von dem Gyrostaten auf das Papier fällt, daß er beständig die Polarisationsebene ändert. Aber es freut mich, sagen zu können, daß ich imstande bin, Ihnen heute abend eine wirklich erfolgreiche Darstellung von Thomsons Prinzip zu zeigen, und zwar ist es das erste Mal, daß dieses sehr lehrreiche Experiment einer Versammlung vorgeführt wird.

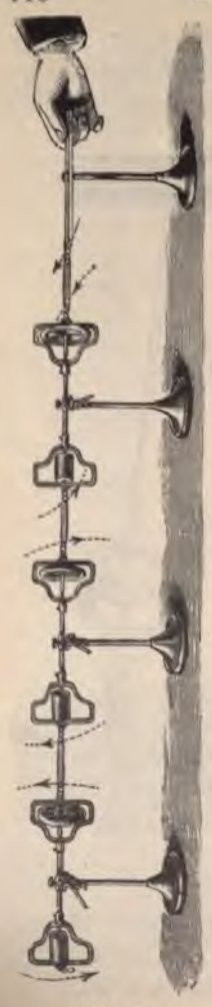
Ich habe hier eine Anzahl von Doppelgyrostaten (Abb. 58) in einer Linie aufgestellt und die Enden durch kurze Gummistücke verbunden. Jedes Instrument ist in seinem Schwerpunkte unterstützt und kann sowohl in der horizontalen als auch in der vertikalen Ebene sich bewegen. Das Ende des schwingenden Hebels *A* kann aber durch meine Hand nur eine horizontale Bewegung erhalten, und diese Bewegung pflanzt sich von einem Gyrostaten zum anderen fort, bis sie beim allerletzten anlangt. Beachten Sie nun, daß, wenn die Gyrostaten sich nicht drehen, die Bewegung

überall horizontal ist. Es ist hier sehr wichtig, nicht etwa das Bild eines reflektierten Lichtstrahles zu erhalten, und daher habe ich allen Stützen eine ziemliche Reibung gegeben. Ich werde nun alle Gyrostaten zum Drehen bringen, sodann werden Sie bemerken, daß, wenn *A* sich nahezu gerade und horizontal bewegt, der nächste Gyrostat sich ebenfalls nahezu gerade, aber in einer etwas verschiedenen Ebene bewegt, der zweite Gyrostat bewegt sich wieder in einer anderen Ebene usw.; jeder Gyrostat dreht etwas die Ebene, in der die Bewegung stattfindet, und Sie sehen, daß der Gyrostat am Ende der Kette durchaus nicht die horizontale Bewegung von *A* empfängt, sondern eine nahezu vertikale. Dies ist eine mechanische Darstellung der Wirkung des Magnetismus auf das Licht, die erste nach vielen Versuchen gelungene.



Abb. 57.

Der Grund der Erscheinung, welche in diesem Modelle zum Ausdrucke gelangt, muß jedem, der mir vom Anfange der Vorlesung zu folgen versuchte, klar sein.


Abb. 58.

Wie Sie nun alle sehen können, brauchen wir uns nur vorzustellen, daß eine große Anzahl von Teilchen des Glases sich wie die Gyrostaten drehen, und daß der Magnetismus eine teilweise Gleichrichtung ihrer Achsen bewirkt habe, um eine dynamische Theorie der Entdeckung Faradays zu haben. Der Magnet wendet die Polarisationsebene ebenso wie die Zuckerlösung; aber durch den Versuch wird erwiesen, daß der Magnet dies unbeeinflußt von der Richtung des Ein- und Austrittes hervorbringt, während der Zucker in einer Weise wirkt, die auf eine spiralförmige Lagerung der Moleküle hinweist. Wie Sie sehen, folgt in dieser wichtigen Einzelheit das Gyrostaten-Analogon der magnetischen und nicht der Zuckermethode. Wir finden daher, daß dieses Modell — das Analogon von Faradays Versuch — der Idee, nach welcher der Magnetismus aus einer Drehung besteht, eine kräftige Stütze verleiht.

Ich habe allerdings die Grenzen der Zeit, die einem volkstümlichen Vortrage gewöhnlich zugemessen wird, bereits überschritten, doch Sie sehen, daß ich unseren Gegen-

stand noch lange nicht erschöpft habe. Ich bin nicht ganz sicher, ob ich das Ziel, das ich mir gesetzt habe, auch vollständig erreichte. Dieses Ziel war nämlich, indem ich von dem ganz verschiedenen Verhalten eines sich drehenden und eines ruhenden Kreisels ausging, Ihnen zu zeigen, daß die sorgfältige Beobachtung dieser ganz gewöhnlichen Erscheinung, sowie das Bestreben, sie genau zu verstehen, dazu führen könne, Dinge zu begreifen, die weitaus verwickelter sind. Es gibt keine wichtigere Lehre als die, daß in dem Studium der alltäglichen Erscheinungen alle großen Entdeckungen der Zukunft liegen. Vor 3000 Jahren waren schon Drehkreisel etwas Gewöhnliches, aber niemand studierte sie. Schon vor 3000 Jahren kochten die Leute Wasser und erzeugten Dampf, und doch war ihnen die Dampfmaschine unbekannt. Sie hatten Kohle, Salpeter und Schwefel, aber sie kannten kein Pulver. Sie sahen die Fossilien in den Felsen, aber die Wunder der Geologie blieben unstudiert. Sie hatten Stücke von Eisenblech und Kupferdraht, aber niemandem fiel eine der 50 einfachen Arten ein, die heute bekannt sind, um diese Dinge zu einem Telephon zu vereinigen. Ja, sogar die einfachste Art des Signalisierens mittels Flaggen und Laternen war unseren Vorfahren unbekannt, und doch würde deren Kenntnis vielleicht das Schicksal der Welt an einem der großen Schlachtentage, von denen wir lesen, geändert haben. Wir betrachten heute die Natur in vollständig verschiedener Weise, mit weitaus mehr Wissen und Verehrung und mit viel weniger sinnloser und abergläubischer Furcht. In demselben Verhältnisse aber, in dem wir zu jenen stehen, welche vor 3000 Jahren

gelebt haben, werden diejenigen, welche 100 Jahre nach uns die Welt bevölkern, zu uns stehen. Denn die Beschleunigung in der Geschwindigkeit des wissenschaftlichen Fortschrittes beschleunigt tatsächlich sich selbst. Die Armee der wissenschaftlichen Arbeiter vergrößert sich von Tag zu Tag, und es ist meine Ansicht, daß in nicht zu ferner Zeit jedes einzelne Glied der Bevölkerung ein wissenschaftlicher Arbeiter sein wird. Und so erlangen wir nach und nach die Herrschaft über Raum und Zeit und machen sie uns untertan. Denken Sie nur an all die Entdeckungen des nächsten Jahrhunderts; an Dinge, die uns unbekannt sind, die aber unseren Nachkommen so gut bekannt sein werden, daß sie über uns als äußerste Ignoranten lächeln, weil diese Dinge ihnen als ganz selbstverständliche Tatsachen vorkommen; ich meine dabei Dinge, die jedem von uns, der sie morgen entdecken würde, den Ruf eines großen Erfinders verschaffen würden. Und die Kinder in hundert Jahren werden diese Dinge alle kennen, sie werden täglich und stündlich im Hause und auf der Straße damit zu tun haben.

Denken Sie sich die folgende schriftliche Prüfungsfrage in einer Schule anno 2000 n. Chr.: „Was können Sie über die krasse Unwissenheit unserer Vorfahren angeben, daß sie von England aus nicht sehen konnten, was ihre Freunde in Australien machten?"*), oder diese:

*) Wie man mit Hilfe von Elektrizität sehen kann, ist vollständig bekannt, aber kein reicher Mann scheint willens zu sein, die paar tausend Pfund zu opfern, welche zur Herstellung des Apparates nötig sind. Könnte ich das Geld und die Zeit ersparen, so würde ich sie benutzen, um dies auszuführen — d. h. so glaube

„Nachrichten werden jetzt jede Minute von unseren Freunden auf dem Planeten Mars erhalten und ebenso beantwortet; wie erklären Sie sich, daß unsere Vorfahren, welchen ebenfalls gelegentlich solche Nachrichten zukamen, davon gar nichts wußten?" Oder diese: „Welches Metall ist um so viel härter als Stahl, als dieser wieder härter als Blei ist? und erklären Sie, warum diese Entdeckung nicht in Sheffield gemacht wurde?"

Es gibt jedoch eine Frage, welche unsere Nachkommen nie in scherzhaftem Tone stellen werden, denn zu ihrem bitteren Weh wird jeder Mann, jedes Weib und jedes Kind die Antwort hierfür wissen, es ist dies die Frage: „Wenn unsere Vorfahren hinsichtlich der Sparsamkeit mit der Kohle nicht so unvernünftig wie ein Kind gewesen wären, das einen Penny als gleichwertig für eine Krone nimmt, warum hätten sie unsere Kohle so verschleudert? Warum zerstörten sie, was nie wieder ersetzt werden kann?" —

Lassen Sie mich schließen, meine Freunde, indem ich den Wert des Wissens betone und Ihnen ans Herz lege, wie wichtig es ist, jede in Ihrem Bereiche liegende Möglickeit zu benutzen, um Ihren Vorrat davon zu vergrößern. Viele gleißende Dinge gibt es, die erfolgreich damit wetteifern und einen größeren Zauber auf die menschlichen Herzen ausüben. Reichtum, Rang, Eleganz, Luxus, Macht und Ruhm spornen den Ehrgeiz der Menschen an und verschaffen sich tausend und abertausend eifriger

---

ich —, aber möglich ist es immerhin, daß, wenn ich in der Lage wäre, 3000 Pfund wegzuwerfen, ich mehr Vergnügen am Anwachsen meines Reichtums als an der Pflege der Naturwissenschaften finden würde.

Anbeter; aber glauben Sie mir, das sind armselige Dinge im Vergleiche mit der Wissenschaft und sie können nie eine so reine Befriedigung gewähren als jene. Es gibt nichts so Schlimmes unter der Sonne, das das Wissen, geleitet von einem ernsten und festen Willen, nicht reinigen und zerstören könnte; und es gibt weder Weib noch Mann, die auf dieser Erde geboren wurden, denen nicht die Fähigkeit zuteil wurde, nicht allein Wissen zur eigenen Vervollkommnung und zum eigenen Vergnügen zu sammeln, sondern auch etwas und wenn auch noch so wenig zu dem allgemeinen Vorrat des Wissens beizutragen, der der Welt größter Reichtum ist.

Sach- und Namenregister.

Druck von B. G. Teubner in Leipzig.

Ebbe und Flut sowie verwandte Erscheinungen im Sonnensystem. Von Prof. Georg Howard Darwin. Autorisierte deutsche Ausgabe von Agnes Pockels. Mit einem Einführungswort von Prof. Dr. Georg von Neumayer und 43 Illustrationen im Text. [XXII u. 344 S.] gr. 8. 1902. Gebunden ℳ 6.80.

Das Buch ist aus populären Vorlesungen hervorgegangen, die der als Autorität auf seinem Gebiete bekannte Verfasser in Amerika gehalten hat. Nach einer Übersicht über die Erscheinungen der Ebbe und Flut des Meeres, der Seeschwankungen und der besonderen Flutphänomene in Flußmündungen, sowie der Beobachtungsmethoden werden in sehr anschaulicher, durch Figuren erläuterter Weise die fluterzeugenden Kräfte, die verschiedenen Theorien der Gezeiten, sowie die harmonische Analyse derselben erörtert und die Herstellung von Gezeitentafeln erklärt. Die folgenden Kapitel sind geophysikalischen und astronomischen Fragen, die mit der Einwirkung der Gezeitenkräfte auf feste und flüssige Weltkörper zusammenhängen, gewidmet; so die Frage nach der Starrheit des Erdkörpers, nach dem Einfluß der Gezeitenreibung auf Erdrotation, Mondbewegung und Entwicklung der Weltsysteme, und noch zahlreiche andere Probleme werden in anregender Weise besprochen oder gestreift.

Wissenschaft und Hypothese. Von Henri Poincaré, Membre de l'Institut. Autorisierte deutsche Ausgabe mit erläuternden Anmerkungen von F. und L. Lindemann. [XVI u. 342 S.] 8. 1904. In Leinw. geb. ℳ 4.80.

Wenige Forscher sind sowohl in der reinen als in der angewandten Mathematik mit gleichem Erfolge tätig gewesen, wie der Verfasser des vorliegenden Werkes. Niemand war daher mehr als er berufen, sich über das Wesen der mathematischen Schlußweisen und den erkenntnistheoretischen Wert der mathematischen Physik im Zusammenhange zu äußern. Und wenn auch in diesen Gebieten die Ansichten des einzelnen zum Teil von subjektiver Beanlagung und Erfahrung abhängen, werden doch die Entwicklungen des Verfassers überall ernste und volle Beachtung finden, um so mehr, als sich derselbe bemüht, auch einem weiteren, nicht ausschließlich mathematischen Leserkreise verständlich zu werden, und als ihm dies durch passende und glänzend durchgeführte Beispiele in hohem Maße gelingt. Die Erörterungen erstrecken sich auf die Grundlagen der Arithmetik, die Grundbegriffe der Geometrie, die Hypothesen und Definitionen der Mechanik und der ganzen theoretischen Physik in ihrer neuesten Entwicklung sowohl, als in ihrer klassischen Form. Um dem allgemeinen Verständnisse noch mehr entgegenzukommen, sind der deutschen Ausgabe durch den Herausgeber zahlreiche Anmerkungen hinzugefügt, die teils einzelne Stellen des Werkes näher erläutern, teils durch literarische Angaben dem Leser die Mittel zu weiterem Studium der besprochenen Fragen an die Hand geben.

Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrizität. Von Prof. Dr. Richarz. Mit 97 Abbildungen im Text. [VI u. 128 S.] gr. 8. 1903. Geschmackvoll geb. ℳ 1.50.

In vortrefflicher Weise ist es dem Verfasser gelungen, die grundlegenden Gesetze der Elektrizität zu erörtern, leicht verständlich, aber zugleich auch für jeden Fachmann interessant die Themata zu behandeln: Über elektrische Schwingungen und Hertzsche Wellen auf Drähten; die Hertzschen Wellen in der Luft, Strahlen elektrischer Kraft und die Telegraphie ohne Draht; Faradays Kraftlinien und die neueren Vorstellungen vom Wesen der elektrischen Ströme; die Tesla-Ströme; die Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen. Vorausgeschickt ist eine Darstellung der absoluten elektrischen und magnetischen Maßeinheiten (Ampère, Volt und Ohm).

„Diese vorzügliche Schrift führt jedermann in sehr kurzer Zeit in die neueren Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrizität ein und dürfte nicht wenig dazu beitragen, das Interesse für die Elektrizität in weitere Kreise zu tragen. Das vorliegende Buch kann wärmstens empfohlen werden." (Centralbl. f. gewerbl. Unterrichtswesen.)

Mathematische Unterhaltungen und Spiele.

Von Dr. W. Ahrens in Magdeburg. gr. 8. Geb. 10 Mk.

Das vorliegende Buch gibt eine Gesamtdarstellung eines Gebietes, das zu allen Zeiten das Interesse der Mathematiker gefesselt hat und dessen Geschichte verknüpft ist mit den glänzendsten mathematischen Namen: eines Leibniz, Euler, Gauß, Minding, Cayley, Sylvester u. a. Es enthält außer den sonst in ähnlichen Werken gewöhnlich behandelten Problemen zahlreiches weiteres, in der Literatur zerstreutes Material, sowie eigene Untersuchungen des Verfassers. Die Darstellung bemüht sich, neben klarer, wenn auch kurzer Hervorhebung der mathematischen Gesichtspunkte auch dem mathematisch weniger gebildeten Leser in den Hauptpartien verständlich zu sein, und wird daher auch diesem viel Anregung und reichen Genuß bieten.

Elemente der Vektor-Analysis. Von Dr. A. H. Bucherer, Privatdozent in Bonn.

[VI u. 91 S.] gr. 8. 1903. geb. n. ℳ 2.40.

Durch die Veröffentlichung dieses elementaren Werkchens glaubt der Verfasser dem Studierenden der Physik ein Hilfsmittel an die Hand zu geben, welches ihm das Eindringen in die mathematische Physik ganz wesentlich erleichtern und sein Wissen auf diesem Gebiete durch eine stärkere Heranziehung der Vorstellungskraft zu einem lebendigeren gestalten soll. Angesichts der Tatsache, daß grundlegende Abhandlungen unserer bedeutendsten Gelehrten in zunehmendem Maße in vektoranalytischer Form verfaßt werden, muß das Erscheinen eines derartigen elementaren Werkchens als besonders zeitgemäß bezeichnet werden. Das Verständnis der Rechenmethode hat der Verfasser sich stets durch einfache Beispiele aus der Physik zu erleichtern bemüht.

Politische Arithmetik oder die Arithmetik des täglichen Lebens von Prof. M. Cantor.

2. Aufl. [X u. 155 S.] gr. 8. 1903. In Leinw. geb. ℳ 1.80.

„Das Werk behandelt in überaus feiner, klarer Weise alles, was der Lehrer an Fortbildungsschulen, Handwerker- und Fachschulen seinen Schülern vorzutragen hat. Wem die oft überaus dürftigen Notizen in den bez. Rechenbüchern nicht genügen, der wird das Werk von Cantor mit Genuß lesen. Behandelt werden unter anderem: Zinsrechnung, Normalzinsfuß, Kontokorrente nach den verschiedenen Methoden, Kurszettel, Wertpapiere, Hypotheken, Wechsel, Arbitragen, Zinseszinsen, Amortisierung von Anleihen usw. usw. Ferner findet sich vieles von allgemeinem Interesse, z. B. Wahrscheinlichkeitsrechnung, eine eingehende Darstellung des Versicherungswesens der verschiedensten Art, Sterblichkeitstabellen u. v. a. Auch der nicht algebraisch geschulte Leser wird die politische Arithmetik mit Gewinn durcharbeiten, da der Verfasser sich stets bemüht hat, das in arithmetischer Form Entwickelte durch ein Zahlenbeispiel auch für diesen verständlich zu machen.“ (Schulblatt d. Provinz Sachsen 1900 Nr. 36.)

